

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:  
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA ROUTER CNC DE  
RECORRIDO 400x400 mm PARA CORTE POR PLASMA DE CHAPA  
METÁLICA.**

**AUTORES:  
RODRIGO JAVIER TROYA ROSILLO  
JEAN PIERRE VELASTEGUÍ MUQUINCHO**

**TUTOR:  
LUIS CHRISTIAN JUIÑA QUILACHAMIN**


**Quito, junio del 2016**

### **Declaratoria de coautoría del docente tutor**

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA ROUTER CNC DE RECORRIDO 400x400 mm PARA CORTE POR PLASMA DE CHAPA METÁLICA** realizado por Rodrigo Javier Troya Rosillo y Jean Pierre Velasteguí Muquincho, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Junio 2016

Atentamente,



Ing. Luis Christian Juiña Quilachamín M.Sc.  
CI: 1713704508

### **Cesión de derechos de autor**

Nosotros Rodrigo Javier Troya Rosillo con documento de identificación N° 1715649743, y Jean Pierre Velasteguí Muquincho con documento de identificación N° 1720165826 manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado intitulado: Diseño y construcción de una máquina router cnc de recorrido 400x400 mm para corte por plasma de chapa metálica, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Rodrigo Javier Troya Rosillo

Cédula: 1715649743

Fecha: Quito, 12 de febrero de 2016



Nombre: Jean Pierre Velasteguí Muquincho

Cédula: 1720165826

Fecha: Quito, 12 de febrero de 2016

## **Dedicatoria**

A Dios, por su dirección, bendición y provisión a lo largo de toda mi vida.

A mi amada esposa Rocío, por ser una gran compañera de vida, porque en todo tiempo me ha brindado su apoyo incondicional en el camino hacia la consecución de metas personales y profesionales. Por compartir conmigo cada éxito y fracaso.

A Jeremy, Rodrigo y Victoria, mis queridos hijos, que son los motores que impulsan mi existencia y han sido puntales que me han sostenido en momentos de dificultad y desánimo.

A mi madre y hermanos, por su cariño y confianza, además por forjar cualidades que me han ayudado a enfrentar la vida con valor, honestidad y paciencia.

A mis padrinos, Miguel Ángel Solano (†) y Livia Vargas, por su generosidad hacia mi persona; por la formación moral y ética recibida, así como también, por el sustento moral y material a lo largo de mi juventud.

Rodrigo

A mis padres, Mónica y Wilson quienes me han sabido guiar de la mejor manera durante toda mi vida, ejemplo de superación, trabajo duro e incansable, mi admiración y amor hacia ustedes es inimaginable, gracias por todo el cariño, y apoyo.

Mis preciadas hermanas Jacque y Anahí, por todos los momentos compartidos, por todas las risas y tristezas, gracias por su apoyo incondicional en todo momento, las adoro hermanas mías.

A toda mi familia prometo no fallarles nunca.

A mi amada novia Nathaly, tu apoyo y amor durante la consecución de esta etapa de mi vida lo valoro en el fondo de mi corazón, gracias por compartir junto a mi cada risa y cada lágrima, espero poder formar nuestra propia familia, no olvides lo mucho que te amo.

A mi tía Paty, mi abuelito Arturo en quienes en su nobleza veo reflejada a mi abuelita María (†), que estoy seguro que desde el cielo me cuida y me guía en todo momento, gracias por haberme criado noble de corazón y humilde en todo momento.

Jean Pierre

## **Agradecimiento**

A nuestra querida universidad, por el conocimiento brindado a lo largo de nuestra carrera, por todos los momentos de felicidad y tristeza, de fortaleza y debilidad, de adversidad y triunfos, compartidos junto a nuestros docentes y amigos.

En especial a nuestra facultad de Ingeniería Mecánica, la cual nos preparó para emprender esta siguiente etapa de nuestras vidas profesionales con los mejores valores éticos y morales, nos convirtió en grandes personas y excelentes profesionales.

Expresamos nuestro agradecimiento al Ing. Luis Juiña por las guías entregadas para la consecución del presente proyecto, por el apoyo desde el comienzo hasta el final, nuestra gratitud eterna.

## Índice

Resumen.....	XVI
Palabras clave.....	XVII
Abstract .....	XVIII
Keywords .....	XIX
Introducción .....	1
Objetivos .....	2
Objetivo general .....	2
Objetivos específicos .....	2
1. Situación actual .....	3
1.1. Motopartes.....	3
1.1.1. Producción de basculantes .....	3
1.1.2. Proceso de manufactura de los tubos laterales.....	4
1.1.3. Fallas presentadas durante el proceso de corte de los tubos laterales .....	6
1.1.4. Tiempo actual del proceso de corte del tubo lateral.....	7
1.1.5. Tiempo estimado del proceso automatizado de corte del tubo lateral .....	8
1.2. Análisis de alternativas de procesos de corte .....	10
1.2.1. Corte con oxidcombustible OFC.....	10
1.2.2. Corte con plasma PAC .....	11
1.2.3. Corte con láser LBM.....	12
1.3. Corte de ranuras con diferentes procesos .....	13
1.4. Tecnología CNC.....	14
1.4.1. Factores que favorecen la implantación del CNC.....	15
1.4.2. Ventajas de la utilización de sistemas CNC.....	15

1.4.3.	Desventajas de la utilización de sistemas CNC .....	15
1.5.	Ejes de movimiento .....	15
1.6.	Análisis de alternativas de los sistemas de transmisión .....	16
1.6.1.	Transmisión de movimiento con motores lineales.....	17
1.6.2.	Transmisión de movimiento piñón – cremallera.....	19
1.6.3.	Transmisión de husillo de bolas .....	20
1.6.4.	Matriz de Holmes o matriz de priorización.....	22
1.6.5.	Resumen de criterios y ponderaciones .....	27
1.6.6.	Resumen de la ponderación de cada criterio en la matriz general .....	28
1.6.7.	Matriz final.....	28
1.7.	Husillo de bolas .....	29
1.8.	Motores paso a paso NEMA 34.....	29
1.9.	Guías lineales SBR .....	30
1.10.	Resultados del presente capítulo.....	31
2.	CÁLCULOS.....	32
2.1.	Cargas aplicadas en el eje crítico “Y” de la máquina.....	32
2.1.1.	Cargas aplicadas en el eje “Y” .....	32
2.1.2.	Cálculo del diámetro de las guías para el eje “Y”.....	36
2.2.	Cálculo del diámetro del tornillo del eje crítico “Y” .....	37
2.2.1.	Análisis estático .....	37
2.2.2.	Diámetro del tornillo con análisis estático .....	39
2.2.3.	Cálculo del torque del motor.....	40
2.2.4.	Determinación de los momentos de inercia para la selección del motor ...	42
2.2.5.	Frecuencia de operación requerida.....	43
2.2.6.	Análisis dinámico.....	44

2.2.7.	Diámetro del tornillo con análisis dinámico .....	46
2.2.8.	Fórmula del límite de resistencia a la fatiga (ecuación de Marin) .....	48
2.2.9.	Estimación del número de ciclos hasta la falla por fatiga .....	53
2.3.	Análisis de la estructura.....	53
2.3.1.	Análisis de las vigas .....	54
2.3.2.	Comprobación del diseño de la viga por flexión .....	56
2.3.3.	Comprobación del diseño de la viga por deflexión.....	57
2.3.4.	Análisis de las columnas .....	59
2.4.	Cálculo de uniones apernadas .....	63
2.4.1.	Pernos inferiores de arrastre.....	63
2.4.2.	Resistencia a tracción.....	66
2.4.3.	Resistencia al punzonamiento .....	67
2.4.4.	Resistencia a cortante máxima de la unión .....	67
2.4.5.	Resistencia por aplastamiento .....	68
2.4.6.	Análisis a tracción.....	68
2.4.7.	Análisis a cortante.....	69
2.4.8.	Análisis combinado.....	69
2.5.	Resultados obtenidos en el presente capítulo .....	70
3.	COSTOS .....	71
3.1.	Inversión Inicial.....	71
3.1.1.	Costos de diseño, dirección técnica y trabajos de terceros .....	72
3.1.2.	Costos de operaciones.....	73
3.1.3.	Costos de materia prima e insumos.....	73
3.1.4.	Costos de depreciación.....	75
3.2.	Evaluación económica.....	76



3.2.1.	Flujo neto de efectivo.....	77
3.2.2.	Costo de capital o tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) .....	78
3.2.3.	Valor actual neto (VAN).....	80
3.2.4.	Tasa interna de retorno (TIR).....	81
3.2.5.	Tiempo de recuperación de la inversión o Pay-back (PRI).....	82
3.3.	Evaluación de resultados. ....	83
4.	CONSTRUCCIÓN.....	84
4.1.	Estructura.....	84
4.2.	Mesa de la máquina cortadora de plasma.....	85
4.3.	Construcción del eje de coordenadas “Y” .....	86
4.4.	Construcción de los ejes de coordenadas “X” y “Z” .....	86
4.5.	Ensamble de los ejes y de componentes normalizados .....	87
	Conclusiones .....	88
	Recomendaciones.....	91
	LISTA DE REFERENCIAS .....	92
	ANEXOS.....	94
	ANEXO A.....	95
	ANEXO B .....	96
	ANEXO C .....	97
	ANEXO D.....	97
	ANEXO E .....	98
	ANEXO F.....	99

## Índice de tablas

Tabla 1. Tiempo de corte del tubo manualmente .....	8
Tabla 2. Tiempo corte plasma automatizado .....	8
Tabla 3. Número de tubos defectuosos en el 2015.....	9
Tabla 4. Resumen procesos de corte .....	13
Tabla 5. Criterios a comparar de los motores lineales .....	17
Tabla 6. Resumen motores lineales.....	18
Tabla 7. Criterios a comparar del sistema piñón cremallera.....	19
Tabla 8. Resumen sistema piñón cremallera.....	20
Tabla 9. Criterios a comparar del sistema husillo de bolas .....	20
Tabla 10. Resumen sistema Husillo de bolas.....	21
Tabla 11. Valores numéricos para cada criterio.....	22
Tabla 12. Matriz general de criterios .....	24
Tabla 13. Comparación del costo entre los mecanismos .....	24
Tabla 14. Comparación de la repetibilidad entre los mecanismos.....	25
Tabla 15. Comparación de la complejidad de instalación entre los mecanismos .....	25
Tabla 16. Comparación de la seguridad entre los mecanismos .....	25
Tabla 17. Comparación del control entre los mecanismos .....	26
Tabla 18. Comparación de la precisión entre los mecanismos .....	26
Tabla 19. Comparación de la velocidad de avance entre los mecanismos.....	26
Tabla 20. Comparación de la eficiencia entre los mecanismos .....	27
Tabla 21. Comparación del mantenimiento entre los mecanismos.....	27
Tabla 22. Resumen global de criterios.....	27

Tabla 23. Ponderación de cada criterio en la matriz general .....	28
Tabla 24. Matriz final de ponderación .....	28
Tabla 25. Resultados del capítulo .....	31
Tabla 26. Características del eje “Y” a utilizar en el análisis .....	33
Tabla 27. Datos para el cálculo del diámetro de las guías .....	36
Tabla 28. Datos tomados del diseño .....	37
Tabla 29. Factor de seguridad estático.....	37
Tabla 30. Datos a utilizar para el cálculo del diámetro del tornillo .....	39
Tabla 31. Datos a utilizar para el cálculo del torque.....	41
Tabla 32. Datos a utilizar para el cálculo del diámetro del tornillo .....	46
Tabla 33. Factor de superficie.....	49
Tabla 34. Factor de temperatura.....	50
Tabla 35. Datos para el análisis de las vigas .....	54
Tabla 36. Datos de la carga y longitud de la viga .....	55
Tabla 37. Datos para el análisis de deflexión.....	58
Tabla 38. Pesos de los elementos para el cálculo.....	59
Tabla 39. Valores referenciales del catálogo DIPAC .....	60
Tabla 40. Resultados del capítulo .....	60
Tabla 41. Valor del salario mínimo.....	72
Tabla 42. Diseño y dirección técnica .....	72
Tabla 43. Trabajos de terceros .....	73
Tabla 44. Costo de operaciones .....	73
Tabla 45. Detalles de materia prima .....	74
Tabla 46. Detalles de Insumos a utilizar .....	74

Tabla 47. Tabla de Depreciación a 10 años .....	76
Tabla 48. Flujo neto de efectivo.....	77
Tabla 49. Valor de inflación anual.....	79
Tabla 50. Cálculo del Tmar para cada inversionista .....	79
Tabla 51. Cálculo de VAN y TIR .....	81
Tabla 52. Flujo neto y flujo acumulado del proyecto .....	82
Tabla 53. Parámetros de corte ideales.....	89

## Índice de figuras

Figura 1. Elementos generales de un basculante de doble brazo .....	4
Figura 2. Detalle ojo chino y moleteado en el tubo lateral .....	4
Figura 3. Tubo lateral doblado según el modelo.....	5
Figura 4. Boca de pescado realizada con plasma.....	5
Figura 5. Plantilla para el corte con plasma del tubo rectangular modelo LX110.....	6
Figura 6. Holgura existente entre el tubo lateral y travesaño.....	6
Figura 7. Plantilla de corte desgastada.....	7
Figura 8. Datos hasta el mes de noviembre del año 2015.....	9
Figura 9. Corte de una placa de acero con un soplete de oxiacetileno.....	10
Figura 10. Elementos del proceso plasma.....	11
Figura 11. Elementos del proceso de corte láser.....	12
Figura 12. Ranura a elaborarse en el tubo rectangular.....	14
Figura 13. Desplazamiento de los ejes en una fresadora. ....	16
Figura 14. Sistema tuerca recirculante - husillo de bolas.....	22
Figura 15. Mecanismos a comparar .....	23
Figura 16. Elementos del husillo de bolas .....	29
Figura 17. Motor paso a paso NEMA 34 .....	30
Figura 18. Conjunto guía SBR20.....	31
Figura 19. Esquema y peso del eje "Y".....	32
Figura 20. Esquema cargas resultantes en un sistema lineal.....	33
Figura 21. Esquema cargas resultantes en el eje "Y" de la cortadora plasma CNC .....	33
Figura 22. Fórmulas para el cálculo de las cargas .....	34

Figura 23. Datos a utilizar y resultados.....	34
Figura 24. Esquema de fuerzas en la guía.....	34
Figura 25. Diagrama de corte y momento en el eje “Y” .....	35
Figura 26. Esquema del tornillo del eje "Y" .....	38
Figura 27. Diagrama de corte y momento del tornillo del eje Y.....	38
Figura 28. Sistema de cargas en un cuerpo .....	40
Figura 29. Coeficientes de fricción, eficiencia y precarga de un husillo de bolas .....	40
Figura 30. Esquema de fuerzas en el tornillo .....	44
Figura 31. Husillo de bolas diagramas corte y momento.....	45
Figura 32. Factor de tamaño $K_b$ .....	49
Figura 33. Factor de carga.....	50
Figura 34. Sensibilidad a la muesca (aceros) .....	51
Figura 35. Eje redondo con filete en el hombro en torsión .....	52
Figura 36. Estructura metálica de la máquina .....	53
Figura 37. Esquema de la viga a analizar.....	55
Figura 38. Fórmulas y diagramas en una viga .....	55
Figura 39. Diagramas de corte y momento en la viga.....	56
Figura 40. Estructura de la máquina .....	59
Figura 41. Esquema de la columna analizada .....	61
Figura 42. Unión apernada para el análisis .....	64
Figura 43. Dimensiones de la junta.....	64
Figura 44. Periodo de recuperación de la inversión .....	83
Figura 45. Estructura de la máquina real .....	84
Figura 46. Mecanismo de regulación de las patas.....	84

Figura 47. Brazo giratorio del bastidor .....	85
Figura 48. Mesa de la máquina .....	85
Figura 49. Eje de coordenadas "Y" .....	86
Figura 50. Eje de coordenadas "Z" Porta antorcha. ....	86
Figura 51. Eje de coordenadas "X" .....	87
Figura 52. Ensamble total de la máquina .....	87
Figura 53. Corte de la ranura en los tubos .....	88
Figura 54. Ranuras realizadas con la CNC plasma. ....	89

## **Resumen**

La industria metalmecánica local, en su línea de motopartes produce diferentes componentes de acero, el presente proyecto se enfoca en los basculantes de las motos, los cuales están compuestos en su estructura de dos tubos rectangulares de 30x50x2 mm ASTM A-500 en sus partes laterales, los componentes mencionados poseen en su parte superior una ranura elaborada mediante corte con plasma, dicha ranura se la realiza de manera manual con la ayuda de plantillas de acero con la trayectoria requerida según el modelo de cada basculante, de modo que el éxito del corte depende en gran medida de la destreza que posea el operador designado para dicha tarea.

Gracias a la ayuda de la tecnología CNC (control numérico computarizado), se procede a la automatización del proceso de corte con plasma, para lo cual se diseña y construye la presente máquina con el fin de evitar posibles falencias del operador, así también la confusión de las plantillas durante el proceso de corte.

El proyecto tiene como finalidad aumentar la eficiencia en la producción de los tubos ranurados gracias a la reducción del tiempo en el proceso de fabricación, de igual manera y gracias a la automatización se brinda mayor seguridad, al no intervenir la mano del hombre durante el corte, el operador solo tiene a su cargo programar la máquina de manera adecuada para evitar choques durante el movimiento.

De esta manera se contribuye con el desarrollo en el sector industrial metalmecánico que actualmente es objeto de estudio de los autores del presente proyecto.



## **Palabras clave**

### **Producción en serie**

Fabricación de bienes en grandes cantidades mediante un proceso de transformación de materia prima, con la ayuda de procesos de estandarización para lograr que todos los bienes sean iguales.

### **Tecnología CNC (control numérico computarizado)**

Representa todo tipo de sistema automatizado, normalmente una máquina herramienta, el mismo permite controlar el movimiento y la posición de un elemento físico, mediante un software y lenguaje de programación utilizando diferentes tipos de códigos.

### **Plasma**

Es un gas supercalentado e ionizado eléctricamente, con el cual se puede realizar el corte del metal debido a las propiedades conductivas que poseen los metales.

### **Jig**

Dispositivo de sujeción, en el presente proyecto facilita asegurar los tubos en la máquina, para que no existan fallos durante el corte con plasma.

### **Chapa metálica**

Se denomina chapa metálica a láminas delgadas de metal, que se utilizan principalmente en la conformación de elementos mecánicos, preferentemente en el área automotriz.

## **Abstract**

The local metalworking industry, in its line of motorcycle parts produces different steel components, this project focuses on the tilting of the bikes, which are made in its two rectangular tubes of 30x50x2 mm ASTM A-500 on its sides , these components have at the top a groove produced by plasma cutting, said slot is done manually with the help steel templates with the trajectory required along the lines of each tilting, so that the success of the cut depends largely on the skill possessed by the operator designated for the task.

With the help of technology CNC (computer numerical control), proceed to automate the process of plasma cutting, for which it is designed and built this machine in order to avoid possible failures of the operator, so the confusion templates during the cutting process.

Thus increasing efficiency in the production of grooved tubes by reducing time in the manufacturing process, in the same way and by automating greater security is provided, by not intervening hand of man during cutting, the operator is only responsible to program the machine properly to avoid collisions during movement.

In this way it contributes to development in the metalworking industry which is currently under study by the authors of this project.

**Keywords****Serial production**

Manufacture of goods in large quantities by a process of transformation of raw materials, with the help of standardization processes to ensure that all goods are equal.

**Technology CNC (computer numerical control)**

Represents all kind of automated system, usually a machine tool, it allows controlling the movement and position of a physical element, using software and programming language using different types of codes.

**Plasma**

It is a superheated and electrically ionized gas, with which can perform metal cutting because the conductive properties possessed by metals.

**Jig**

Clamping device, in this project facilitates secure the tubes in the machine, so there are no failures during plasma cutting.

**Sheet metal**

It is called sheet metal thin sheets of metal, which are mainly used in forming mechanical elements, preferably in the automotive area.

## **Introducción**

El gobierno nacional con su proyecto de cambio de matriz productiva, brinda apoyo para el desarrollo de pequeñas industrias, por tal razón se encontró una oportunidad de mejora en el área metalmecánica la misma que actualmente es objeto de estudio por parte de los realizadores del proyecto.

El presente proyecto se enfoca principalmente en el corte de metal mediante la tecnología plasma, en Ecuador y específicamente en la ciudad de Quito, en la mayoría de empresas y talleres industriales el corte se lo realiza de forma manual y la calidad del mismo depende en gran medida de la habilidad del operario, con el fin de aportar con el desarrollo del sector se automatiza el proceso, de esta manera se mejora la calidad, y la eficiencia del mismo.

El corte plasma es usado actualmente en gran medida en el sector industrial local, debido a que puede ser utilizado para producción en serie, así también para la producción de pequeños lotes, el plasma es un gas ionizado que trabaja a altas temperaturas causando la fusión del metal y por ende el corte del mismo.

La automatización del proceso con ayuda de tecnología CNC representa el valor agregado por parte de los realizadores del proyecto en cuanto a diseño y construcción del mismo.

El éxito del proyecto se ve reflejado en la eficiencia del proceso de corte del metal, que a su vez se transforma en un indicador de calidad del producto terminado.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- Diseñar y construir una máquina router CNC de recorrido (400 x 400) mm para corte por plasma de chapa metálica en dos ejes.

### **Objetivos específicos**

- Evaluar la situación actual del corte con plasma.
- Elegir la alternativa factible para el mejoramiento del proceso de corte.
- Diseñar los sistemas y mecanismos mecánicos existentes en la máquina.
- Seleccionar los sistemas electrónicos y de control adecuados para el desarrollo.
- Construir los elementos mecánicos diseñados cumpliendo con las tolerancias indicadas.
- Realizar las pruebas necesarias para asegurar el correcto funcionamiento de la máquina.

# **CAPÍTULO I**

## **1. Situación actual**

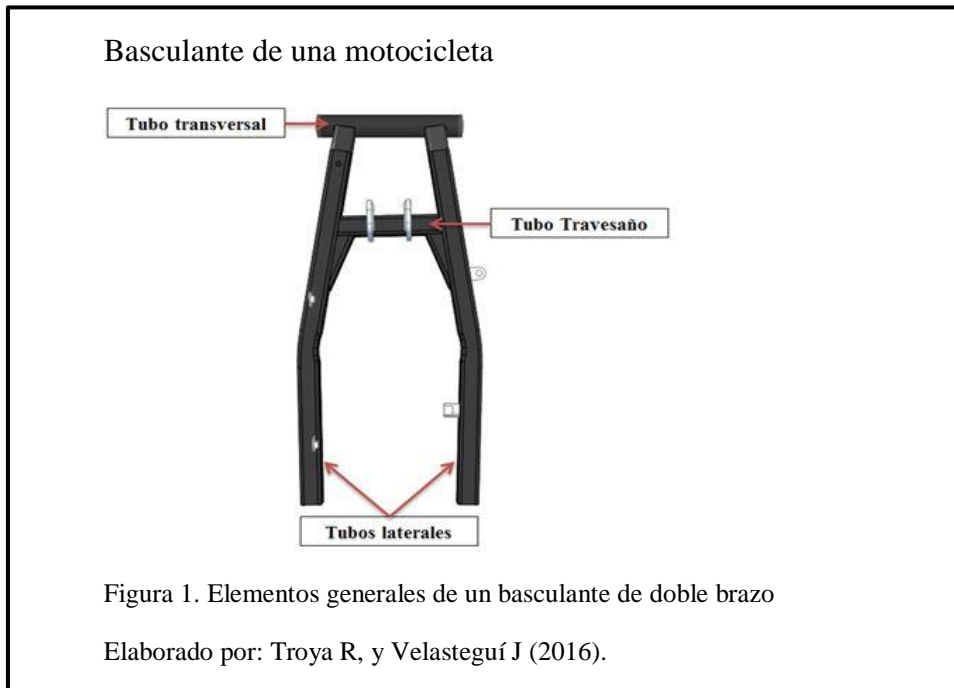
Las industrias de autopartes y motopartes constituyen organizaciones importantes del sector metalmecánico ecuatoriano. Sus productos más relevantes incluyen el chasis y el balde de camioneta para las ensambladoras de vehículos locales, componentes estructurales de varios modelos de motocicletas, cuadros, y manubrios para bicicletas, entre otros.

### **1.1. Motopartes**

Las industrias de motopartes son pioneras en el desarrollo y fabricación de partes ecuatorianas integrando diseño innovador, materiales de alta especificación y procesos robustos de manufactura, actualmente se fabrican basculantes, manubrios, patas de apoyo, parrillas y defensas para varios modelos de motocicletas de todas las marcas.

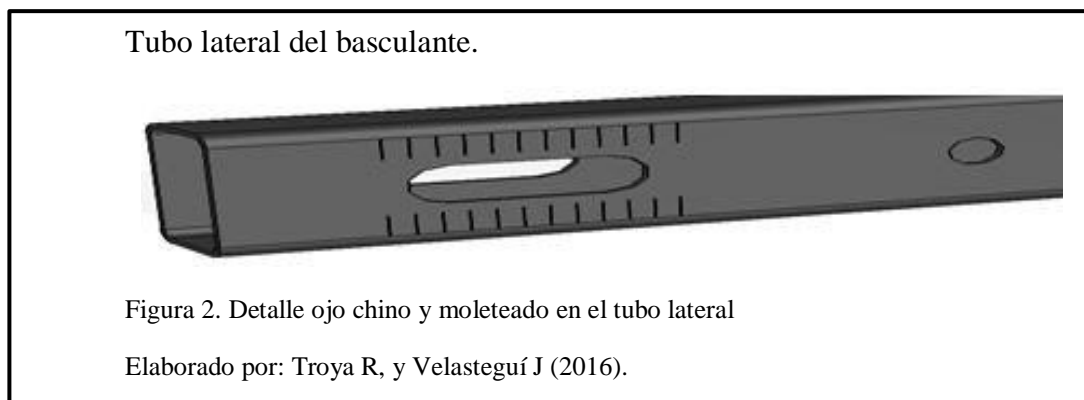
#### **1.1.1. Producción de basculantes**

El basculante que más se elabora actualmente es del tipo de doble brazo, los cuales están formados por un tubo transversal que aloja los rodamientos y un par de tubos laterales que soportaban la rueda y los amortiguadores, en la figura 1, se muestran los elementos generales que conforman el basculante de doble brazo de una motocicleta.



### 1.1.2. Proceso de manufactura de los tubos laterales

El proceso de manufactura de los tubos laterales comienza con el tronzado de la materia prima, posteriormente se trasladan los tubos cortados hacia la zona de prensas en donde se monta el troquel, se realiza el ojo chino y el moleteado como se puede ver en la figura 2.



A continuación se procede a doblar el tubo de acuerdo al modelo y al ángulo deseado con ayuda de un troquel universal de doblado como se puede ver en la figura 3.

#### Proceso de doblado



Figura 3. Tubo lateral doblado según el modelo

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

El proceso de elaboración del tubo lateral se completa con el corte de la boca de pescado ubicada en la parte superior, en la figura 4 se puede observar a detalle el corte elaborado con plasma.

#### Intervención del proceso de corte con plasma

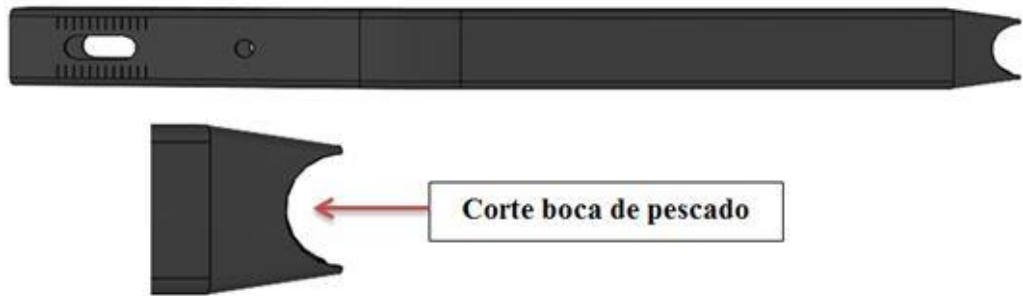


Figura 4. Boca de pescado realizada con plasma

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

Actualmente el corte de las bocas de pescado lo realizan, con ayuda de plantillas como se puede observar en la figura 5, las cuales son diseñadas y posteriormente construidas, esto representa costos de diseño y construcción, asimismo se tiene en cuenta los posibles errores que se pueden cometer durante el proceso por parte del operador o a su vez por el desgaste o confusión de las herramientas a utilizar.



### Plantillas usadas para la elaboración de la boca de pescado

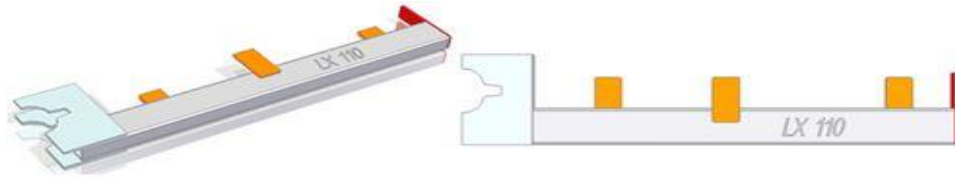


Figura 5. Plantilla para el corte con plasma del tubo rectangular modelo LX110

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

### 1.1.3. Fallas presentadas durante el proceso de corte de los tubos laterales

La confusión de la plantilla de corte a utilizar, ha provocado pérdida de lotes enteros por la elección errónea, dando como resultado el reproceso en los tubos lo que se transforma en dinero perdido para la empresa.

En la figura 6 se observa la holgura existente entre el tubo lateral y el tubo travesaño en el momento en el cual las piezas se colocan en el jig (dispositivo de sujeción) de soldado.

### Fallas durante el proceso

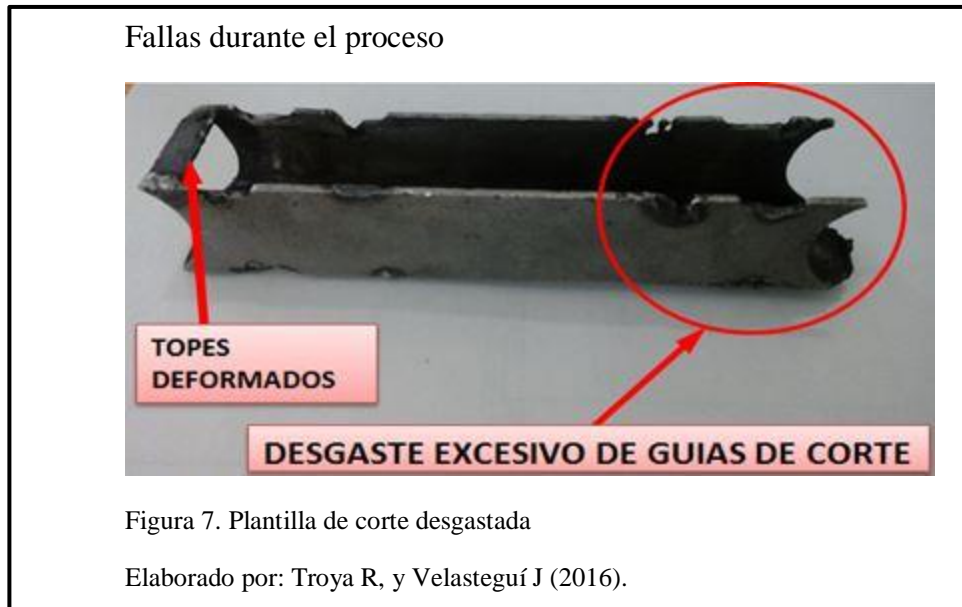


Figura 6. Holgura existente entre el tubo lateral y travesaño

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

El desgaste de la plantilla debido al uso continuo, se debe considerar que son lotes de varios tubos, y los pedidos son mensuales por lo cual este elemento está sujeto

al deterioro por su contacto directo con el plasma, en la figura 7 se observa la imagen de una plantilla desgastada por el constante uso.



La incorrecta posición de los tubos rectangulares en la plantilla genera problemas con la ranura elaborada con plasma por tanto causa inconvenientes en el ensamble del basculante, excesivas holguras y tubos que no ingresan en el jig.

Debido a los problemas expuestos se plantea la necesidad de evaluar varios sistemas que permitan mejorar el tiempo de producción, de la misma manera buscar la eliminación de errores en el proceso y garantizar la seguridad y calidad del mismo.

#### **1.1.4. Tiempo actual del proceso de corte del tubo lateral**

La tabla 1 muestra en detalle el tiempo que se demora el actual proceso por cada tubo durante el corte, la operación es manual con ayuda de plantillas.

Tabla 1.

Tiempo de corte del tubo manualmente

<b>Operación</b>	<b>Tiempo (s)</b>
Colocación del tubo en los topes de la plantilla	10
Corte de la ranura en ambos lados	30
Pulido (limpieza de escoria)	30
Retirada del tubo de la plantilla	10
<b>Tiempo total:</b>	<b>80</b>

Nota: Los valores mostrados pertenecen a tiempos reales tomados actualmente.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

#### **1.1.5. Tiempo estimado del proceso automatizado de corte del tubo lateral**

En la tabla 2 se muestra el tiempo estimado una vez concluido el proceso automatizado de corte.

Tabla 2.

Tiempo corte plasma automatizado

<b>Operación</b>	<b>Tiempo (s)</b>
Colocación del tubo en el jig de sujeción	20
Corte de la ranura en ambos lados	120
Pulido (limpieza de escoria)	20
Retirada del tubo del jig de sujeción	20
<b>Tiempo total de corte de los 6 tubos:</b>	<b>180</b>

Nota: Se plantea realizar el corte de 6 tubos a la vez usando la máquina router CNC.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

Se propone disminuir el tiempo de 80 segundos por tubo a 30 segundos por tubo.

En la tabla 3 se muestra la cantidad de tubos que han sido identificados como defectuosos debido a las fallas antes descritas.

Tabla 3.

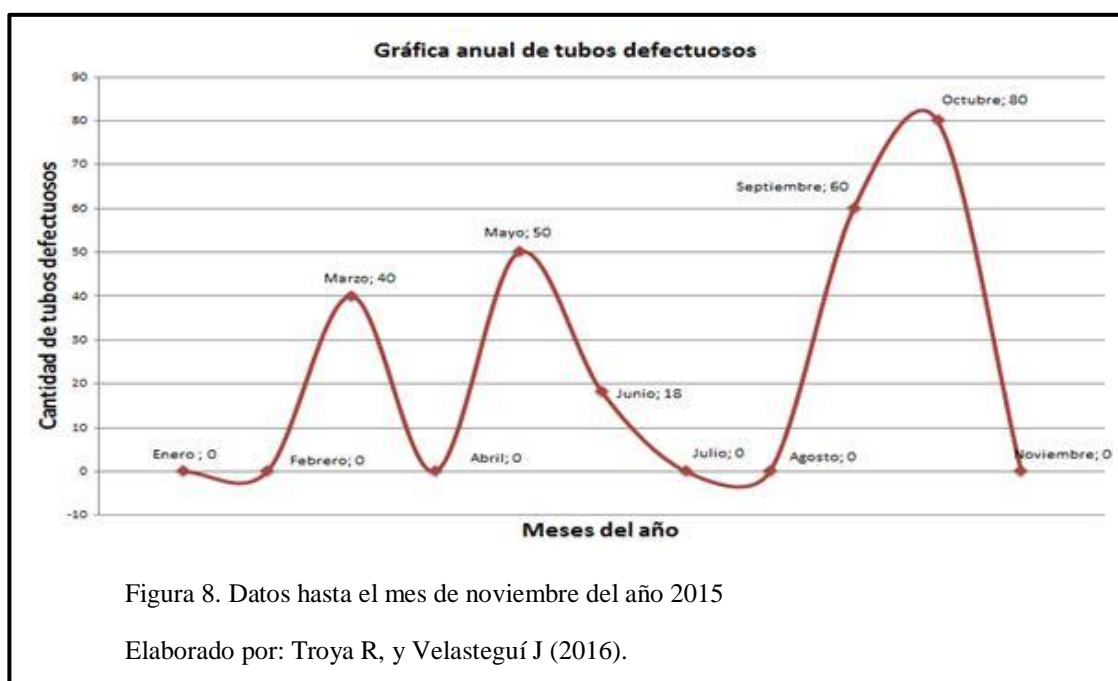
Número de tubos defectuosos

AÑO 2015		
Mes	Errores reportados	Tubos defectuosos
Enero	No se reportan casos	0
Febrero	No se reportan casos	0
Marzo	Modelo TRX: Confusión de plantillas con modelo TRS	40
Abril	No se reportan casos	0
Mayo	Modelo Daytona: Cortes defectuosos plantilla desgastada	50
Junio	Modelo F16: Cortes defectuosos plantilla desgastada	18
Julio	Se revisa el desgaste de todas las plantillas	0
Agosto	No se reportan casos	0
Septiembre	Modelo Venus: Confusión de plantillas con modelo Powermax	60
Octubre	Modelo TRS topes mal ubicados en plantilla cortes defectuosos	80
Noviembre	No se reportan casos	0
TOTAL		248

Nota: Tubos identificados defectuosos en el 2015.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

La figura 8 muestra la gráfica de dispersión de los tubos encontrados como defectuosos.

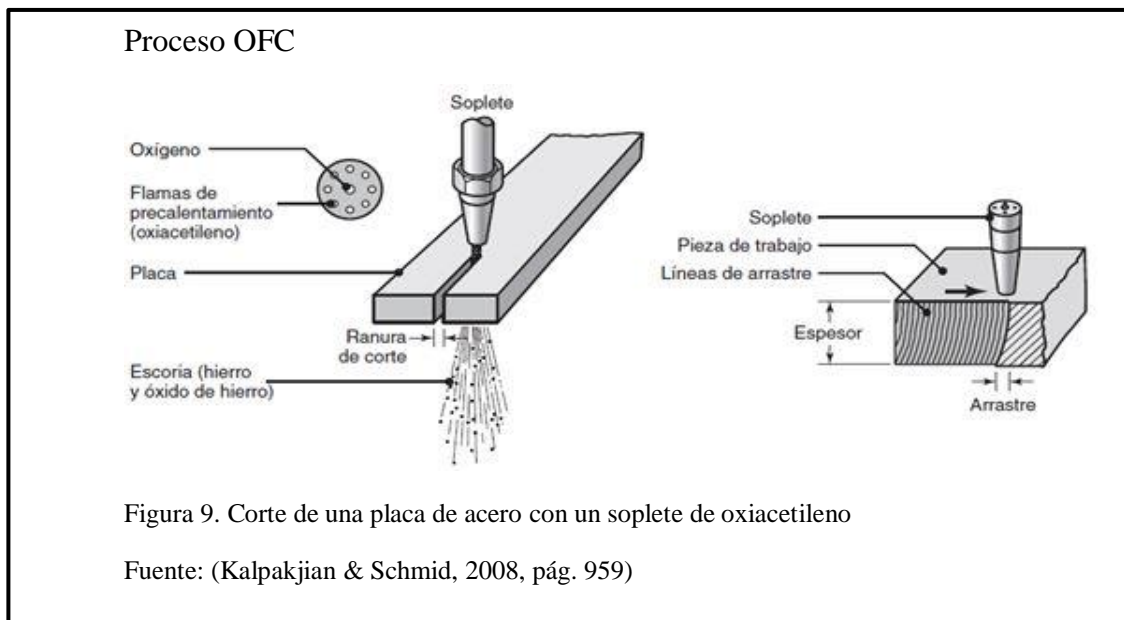


## 1.2. Análisis de alternativas de procesos de corte

Existen diversos métodos para cortar el acero, cada uno varía de acuerdo a la necesidad y a los factores que intervienen, se procede a realizar la comparación entre los siguientes métodos de corte para poder elegir el adecuado:

### 1.2.1. Corte con oxicombustible OFC

Este proceso es menos costoso comparado con el corte láser, el proceso “usa el calor de combustión de ciertos gases, combinado con la reacción exotérmica del metal con el oxígeno. El soplete de corte que se usa en estos procesos está diseñado para proporcionar una mezcla de gas combustible y oxígeno en las cantidades correctas y dirigir una corriente de oxígeno a la región de corte”. (Groover, 2007, pág. 634), como de observa en la figura 9.

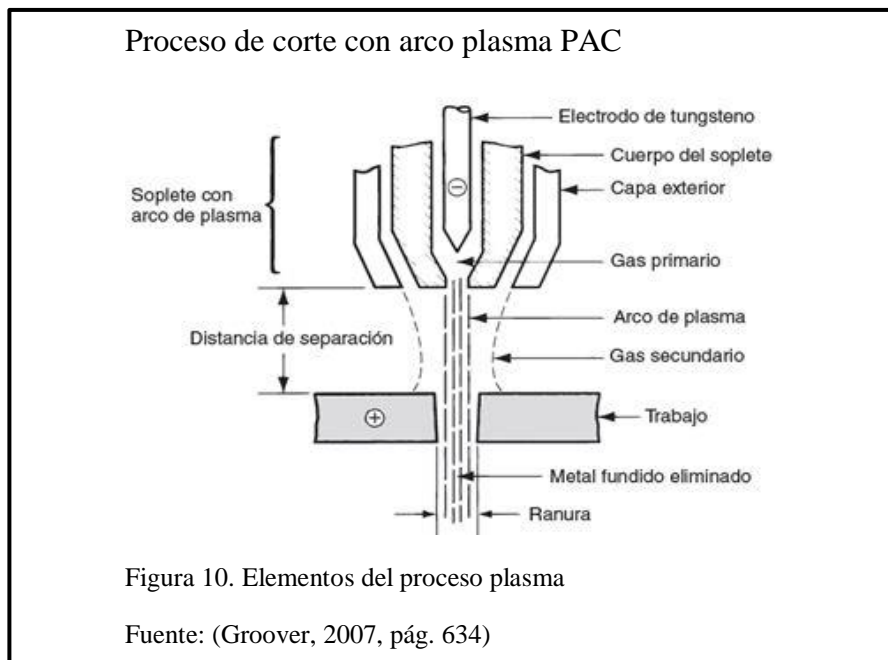


Como explica Kalpakjian & Schmid, (2008), el espesor máximo que se puede cortar mediante el OFC depende sobre todo de los gases que se usen.

### 1.2.2. Corte con plasma PAC

El corte con plasma es el más utilizado en el medio por su accesibilidad y versatilidad, es utilizado para producción industrial como para producción en pequeños lotes, es de fácil uso, el plasma se define como “un gas supercalentado e ionizado eléctricamente. El corte con arco de plasma (PAC por sus siglas en inglés) usa una corriente de plasma que opera a altas temperaturas en el rango de 10 000 a 14 000 °C (18 000 a 25 000 °F) para cortar metal por fusión” (Groover, 2007, pág. 633).

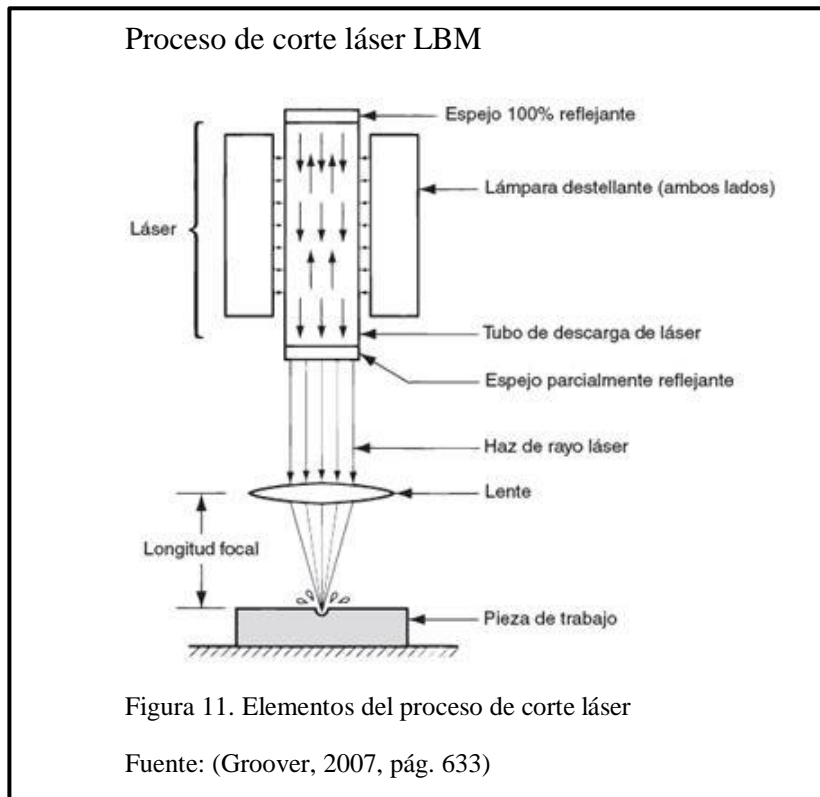
“Se utiliza para cortes rápidos de placas de metal no ferroso y de acero inoxidable, su productividad es mayor que la de los procesos con oxígeno y combustible gaseosos” (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 959), el corte PAC y sus elementos se observan en la figura 10.



Es el proceso de corte más popular que usan controladores programables (CNC) en la manufactura de hoy en día.

### 1.2.3. Corte con láser LBM

Este proceso posee el mejor acabado superficial después del corte, es el más costoso de todos los procesos debido a que “usa la energía luminosa de un láser para remover material mediante vaporización y desgaste. Los tipos de láser usados en este proceso son de gas de dióxido de carbono y de estado sólido (de los cuales hay varios tipos)” (Groover, 2007, pág. 632), la figura 11 describe el proceso LBM.



En la tabla 4 se muestra el resumen de los diferentes tipos de corte analizados, para poder encontrar aquel que cumpla las expectativas.

Tabla 4.

Resumen procesos de corte

Proceso de corte	Ventajas	Desventajas	Observaciones
<b>Corte con oxicombustible OFC</b>	El corte con oxígeno y combustible gaseosos también puede utilizarse en la manufactura. Los sopletes se pueden guiar en diversas trayectorias de forma manual, mecánica o mediante máquinas automáticas con controladores programables y robots.	La pieza se precalienta con un gas combustible. La flama deja líneas de arrastre en la superficie cortada. Cuanto mayor sea el contenido de carbono en el acero, mayor será la temperatura de precalentamiento requerida	Este proceso se usa para cortar placas metálicas ferrosas, en las cuales ocurre una rápida oxidación del hierro. El espesor máximo que se puede cortar mediante el OFC depende sobre todo de los gases que se usen.
<b>Corte con plasma PAC</b>	Las velocidades de alimentación a lo largo de la trayectoria de corte pueden ser tan altas, con esto se aumenta la productividad. Su productividad es mayor que la de los procesos con oxígeno y combustible gaseosos.	La superficie de corte es áspera.  El daño metalúrgico en la superficie es el más severo entre los procesos metalúrgicos no tradicionales.	Se utiliza para cortes rápidos de placas de metal no ferroso y de acero inoxidable. El corte con arco de plasma puede usarse para cortar casi cualquier metal eléctricamente conductivo.
<b>Corte con láser LBM</b>	Se usan para cortar con mucha exactitud una gran variedad de metales. El acabado superficial es mejor que el de otros procesos térmicos de corte, y la ranura de corte es más angosta.	Es el proceso más costoso de todos por la tecnología con la cual trabaja. No se considera un proceso de producción en masa y, por lo general, se usa en lotes pequeños.	Los tipos de láser usados en este proceso son de gas de dióxido de carbono y de estado sólido. El rango de materiales de trabajo que se pueden maquinar mediante este proceso es virtualmente ilimitado.

Notas: Ventajas, desventajas y observaciones de los procesos de corte.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

La máquina va a realizar ranuras en tubos rectangulares de acero ASTM A-500 grado A de (30x50x2) mm que conforman los brazos laterales del basculante de las motos, por consiguiente el análisis de la mejor alternativa de corte se lo realizará para las condiciones óptimas de corte para este perfil.

### 1.3. Corte de ranuras con diferentes procesos

En el caso del corte con láser este proceso queda descartado por el costo que representa. El oxifuel es el que produce la mayor anchura de ranura asimismo se utiliza para cortar placas de espesores significativos, por consiguiente se descarta el uso del oxifuel en el espesor de 2 mm del tubo rectangular.



Como explica HYPERTHERM, (SF, pág. 2), en su artículo plasma, oxifuel y láser la ranura es la anchura del material eliminado durante el proceso.

La ranura en el caso del plasma puede estar entre los 1,346 mm y los 8,636 mm en función del espesor de la chapa, además que el plasma ofrece características de altas velocidades durante el corte, esencial para una producción óptima por consiguiente es la alternativa escogida para elaborar la ranura en el tubo rectangular, en la figura 12 se puede observar la ranura a elaborar en el tubo rectangular.



#### 1.4. Tecnología CNC

La evolución del control numérico computarizado (CNC), permite su introducción en empresas grandes, medianas y pequeñas, en esta sección se detalla las consideraciones y factores a tomar en cuenta para la utilización e implementación de la tecnología CNC en la automatización de los procesos.

De acuerdo con Francisco Cruz Teruel (2005) se deben considerar varios factores para la implementación de la tecnología CNC.

#### **1.4.1. Factores que favorecen la implantación del CNC**

- Mayor exigencia en la precisión de los mecanizados.
- Necesidad de reducir errores en la producción para no encarecer el producto.
- El abaratamiento de los sistemas CNC, lo que favorece la adquisición de los mismos.

#### **1.4.2. Ventajas de la utilización de sistemas CNC**

- Mejora de la precisión, así como un aumento en la calidad de los productos.
- Posibilidad de utilización de varias máquinas simultáneamente por un solo operario.
- Disminución de tiempo.

#### **1.4.3. Desventajas de la utilización de sistemas CNC**

- Elevado costo de accesorios y maquinaria.
- Necesidad de cálculos, programación y preparación de forma correcta para un eficiente funcionamiento.
- Costos de mantenimiento más elevado, ya que se genera la necesidad de personal de servicio y mantenimiento con altos niveles de preparación.

Para el presente caso se mostrará los dispositivos y sistemas a utilizar en el proyecto:

- Ejes de movimiento.
- Sistemas de transmisión.
- Sistemas de control de posición y desplazamientos.

#### **1.5. Ejes de movimiento**

La cortadora de plasma CNC a diseñar posee dos ejes principales en los que va a trabajar el eje X y el eje Y, en las máquinas herramientas de control numérico “se aplica el concepto de “eje”, a las direcciones de los diferentes desplazamientos de las partes móviles de la máquina” (Cruz Teruel, 2005).

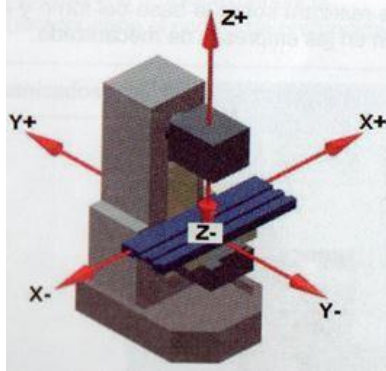


Figura 13. Desplazamiento de los ejes en una fresadora.

Fuente: (Cruz Teruel, 2005)

Los ejes X e Y están asociados en relación a su movimiento en el plano horizontal (longitudinal y transversalmente) de la mesa de trabajo como se observa en la figura 13, estos dos serán los que se trasladen para que la antorcha de plasma realice el corte de la manera deseada.

### 1.6. Análisis de alternativas de los sistemas de transmisión

*“Los sistemas de transmisión son los encargados de realizar los movimientos de los ejes a partir del giro básico generado por el grupo del motor-reductor”* (Cruz Teruel, 2005).

Respecto al análisis de las diferentes alternativas con relación a la transformación de movimiento rotacional por parte del motor hacia un movimiento de traslación para poder mover los ejes, el estudio se enfocará en tres opciones:

- **Husillos de bolas**
- **Motores lineales**
- **Sistema de piñón cremallera**

Para la comparación y el análisis de los tres sistemas se hace énfasis en las siguientes características para la selección:

- **Velocidad de avance**
- **Costo**
- **Precisión**
- **Mantenimiento**
- **Complejidad de instalación**
- **Seguridad industrial**
- **Repetibilidad**
- **Eficiencia**
- **Control**

Para la selección se procede a realizar una matriz de comparación usando la información recopilada, de esta manera se va a elegir la mejor opción que permita trabajar a la máquina de una manera adecuada en relación calidad – costo.

#### **1.6.1. Transmisión de movimiento con motores lineales**

El principio de funcionamiento es simple, se trata del vínculo electromagnético que existe entre la parte fija (inductor) y la parte móvil (inducido), mediante el campo electromagnético generado el motor se desplaza de un lugar a otro, en la tabla 5 se muestran los criterios a analizar en cuanto a motores lineales.

Tabla 5.

Criterios a comparar de los motores lineales

<b>Factores a comparar en el estudio</b>	
<b>Costo</b>	Los motores lineales poseen costos elevados para la presente aplicación varía entre los \$360 dólares hasta los \$470 dólares
<b>Repetibilidad</b>	Repetibilidad dentro 1µm

<b>Complejidad de instalación</b>	Se recomienda que “Los motores lineales deben ser protegidos tanto contra sobrecargas como contra cortocircuitos” (SEW Eurodrive, 2004, pág. 26).
<b>Seguridad industrial</b>	Necesidad de disipación y/o eliminación del calor, se necesita disponer de sistemas de refrigeración y/o aislamiento térmico
<b>Control</b>	Control de lazo cerrado con impulsos, (STEP / DIR, CW / CCW)
<b>Precisión</b>	Carrera mínima de 0,1 mm
<b>Velocidad de avance</b>	“High velocities, up to 5 m/s (16 ft/s), and acceleration, 49 m/s <sup>2</sup> (160 ft/s <sup>2</sup> ) standard” (Allen - Bradley, 2013)
<b>Eficiencia</b>	La eficiencia es alta llegando a bordear el 90%
<b>Mantenimiento</b>	El carro se mueve sin contacto y, por tanto, sin fricción a lo largo del eje y ofrece un funcionamiento sin desgaste

Nota: Criterios analizados con respecto a los motores lineales.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

La tabla 6 muestra un resumen general de la información antes expuesta considerando las características, ventajas y desventajas relevantes sobre el tema.

Tabla 6.

Resumen motores lineales

<b>Características</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Freno de inmovilización integrado  Funciona en aplicaciones verticales	Varios carros, cada uno con su propio controlador de motor, pueden moverse en un eje de manera independiente entre sí	Necesidad de contar con sistemas de refrigeración para disipar el calor generado
Higiénico: el colchón neumático evita que las sustancias no pegajosas penetren en el eje	Bajos costes de mantenimiento	Produce calor durante su funcionamiento
El motor sólo consta de dos partes: vástago y estator	Ajuste de velocidad	Elevado costo de adquisición

Nota: Ventajas y desventajas encontradas en los motores lineales.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

### 1.6.2. Transmisión de movimiento piñón – cremallera

Permite transformar el movimiento circular en este caso del motor giratorio en un movimiento rectilíneo y viceversa, con la ayuda de una rueda dentada y una cremallera, en la tabla 7 se muestran los criterios a analizar en cuanto al sistema piñón cremallera.

Tabla 7.

Criterios a comparar del sistema piñón cremallera

<b>Factores a comparar en el estudio</b>	
<b>Costo</b>	El costo de fabricación varía en gran medida del número de dientes, módulo, material, longitud, etc.
<b>Repetibilidad</b>	Menos de 0,1 mm
<b>Complejidad de instalación</b>	“El montaje de varias cremalleras provoca pequeños huecos entre las partes” (WITTENSTEIN, 2013, pág. 369), por lo que la alineación en la máquina debe ser perfecta
<b>Seguridad industrial</b>	Evitar el contacto con el sistema por parte del operador
<b>Control</b>	El control se lo realiza directamente al motor giratorio el cual está acoplado a la rueda dentada (piñón)
<b>Precisión</b>	Error de paso individual de 0,01 mm máximo y en su longitud total de 0,15 mm
<b>Velocidad de avance</b>	Altas velocidades de avance con una velocidad máxima de 200 m/min
<b>Eficiencia</b>	la eficiencia de una cremallera es del 75 hasta el 80 %
<b>Mantenimiento</b>	La lubricación del sistema es de suma importancia para evitar el desgaste y posibles roturas en los dientes.

Nota: Criterios analizados con respecto al sistema piñón cremallera.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

La tabla 8 muestra un resumen general de la información antes expuesta considerando las características, ventajas y desventajas relevantes sobre el tema.

Tabla 8.

Resumen sistema piñón cremallera

Características	Ventajas	Desventajas
La rigidez e inercia del sistema piñón cremallera es independiente del recorrido y longitud de la misma.	funcionamiento más silencioso a alta velocidad y una mayor capacidad de transporte de carga	Sistemas de lubricación continuo, debido a la fricción y contacto
Si se lubrica adecuadamente, la vida útil de los conjuntos de piñón y cremallera será más larga	Transmisión suave y con precisión, transmite potencias elevadas	Sistema expuesto con el ambiente
Una elevada velocidad de entrada (hasta 1200 rpm)	Útiles cuando los recorridos son largos	Posibles accidentes laborables

Nota: Ventajas y desventajas encontradas en el sistema piñón cremallera.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

### 1.6.3. Transmisión de husillo de bolas

Un husillo de bolas consiste en un eje roscado, y un sistema integrado de tuerca, bolas y mecanismos de recirculación son el tipo más utilizado en la fabricación de maquinaria de precisión. (HIWIN, 2012, pág. 4), en la tabla 9 se muestran los criterios a analizar en cuanto al sistema husillo de bolas.

Tabla 9.

Criterios a comparar del sistema husillo de bolas

Factores a comparar en el estudio	
<b>Costo</b>	Su costo es menor que los sistemas de motores lineales y los de piñón - cremallera
<b>Repetibilidad</b>	Precisión de repetición: +/- 0,05m

<b>Complejidad de instalación</b>	Los extremos poseen accesorios BK y BF los cuales sostienen los extremos del husillo.
<b>Precisión</b>	“La precisión de su paso es de 52 $\mu$ m por cada 300 mm de longitud del tornillo” (Grupo NTN-SNR, 2004).
<b>Velocidad de avance</b>	Velocidad máxima: 2 m/s
<b>Eficiencia</b>	Poseen una eficiencia de alrededor del 90%
<b>Mantenimiento</b>	Reducido desgaste y elevada rigidez. (Sistemas de construcción para aplicaciones industriales: Item@Sinerges, 2015)

Nota: Criterios analizados con respecto al husillo de bolas.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

La tabla 10 muestra un resumen general de la información antes expuesta considerando las características, ventajas y desventajas relevantes sobre el tema.

Tabla 10.

Resumen sistema Husillo de bolas

<b>Características</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Los husillos de recirculación de bolas, son el tipo más utilizado en la fabricación de maquinaria de precisión	Se los puede configurar con una precarga inicial para reducir el juego	Es necesario colocar un final de carrera al final del eje para evitar que la tuerca exceda el recorrido lo cual podría producir daños
Convierte el movimiento rotativo en movimiento lineal o un esfuerzo de torsión en uno de empuje y viceversa	Baja fricción y movimiento suave	Es especialmente importante eliminar el desalineamiento entre los soportes de los extremos y el centro de la tuerca.
El factor de seguridad a trabajar puede ser configurado según el caso	Características como alta precisión, alta repetitividad y eficiencia	Al existir rozamiento y contacto entre sus componentes requiere lubricación constante

Nota: Ventajas y desventajas encontradas en el sistema husillo de bolas.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).



Como se puede observar en la figura 14, un husillo de bolas convierte el esfuerzo rotacional del motor en movimiento rectilíneo, con características como alta precisión, alta repetitividad y eficiencia.



#### 1.6.4. Matriz de Holmes o matriz de priorización

La Matriz de Holmes o también llamada “matriz de priorización es una herramienta que permite la selección de opciones sobre la base de la ponderación y aplicación de criterios” (Aiteco Consultores, 2012).

Para armar la matriz de priorización se consideraron los criterios mostrados en la tabla 11 para la selección de una numeración basada en la información antes expuesta.

Tabla 11.

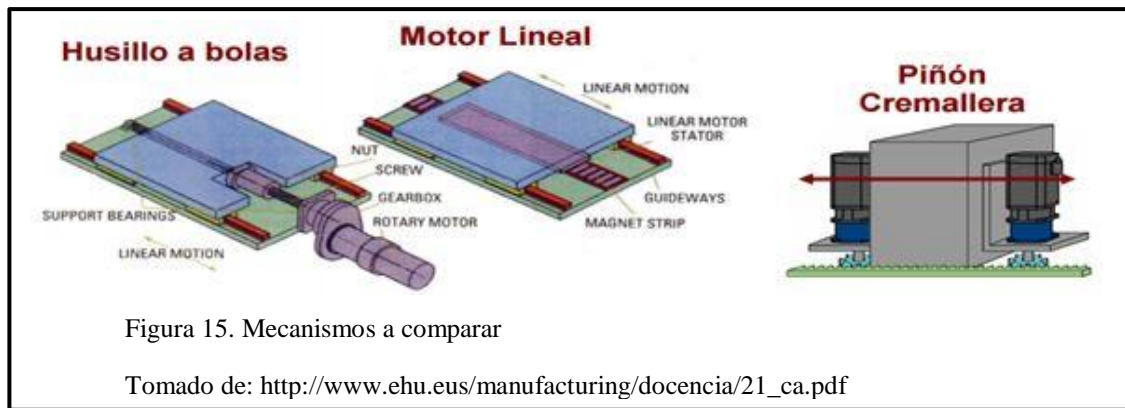
Valores numéricos para cada criterio

<b>IGUALMENTE IMPORTANTE</b>	1
<b>SIGNIFICATIVAMENTE IMPORTANTE</b>	5
<b>EXCESIVAMENTE MÁS IMPORTANTE</b>	10
<b>SIGNIFICATIVAMENTE MENOS IMPORTANTE</b>	1/5
<b>EXCESIVAMENTE MENOS IMPORTANTE</b>	1/10

Nota: Valores numéricos referenciales designados para cada caso.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

“La matriz de priorización consiste en la especificación del valor de cada criterio seleccionado para, posteriormente, analizar mediante el despliegue de distintas matrices tipo-L, el grado en que cada opción cumple con los criterios establecidos” (Aiteco Consultores, 2012), la figura 15 muestra los tres mecanismos de propulsión a comparar.



“Si los criterios no están determinados, el equipo elabora una lista consensuada. Los criterios deben definirse nítidamente para que su significado no ofrezca duda a los miembros del equipo” (Aiteco Consultores, 2012).

En la matriz se van a evaluar y comparar los siguientes criterios para la obtención de una alternativa fiable.

- Velocidad de avance
- Costo
- Precisión
- Mantenimiento
- Complejidad de instalación
- Seguridad industrial
- Repetibilidad
- Eficiencia
- Control

#### 1.6.4.1. Matriz general

En la tabla 12 se presenta la matriz general en las cuales se comparan los criterios entre sí, para poder llegar a la ponderación que tendrá cada criterio en la matriz.

“Mediante una matriz tipo-L se ponderan los distintos criterios, confrontándolos con los demás. Para ello, y partiendo del eje vertical, se compara el primer criterio con los restantes, asignando el valor más apropiado según la tabla de valores existente al efecto” (Aiteco Consultores, 2012).

Tabla 12.

Matriz general de criterios

CRITERIO	COSTO	REPETIBILIDAD	COMP. INSTALAC	SEGURIDAD	CONTROL	PRECISIÓN	VEL. AVANCE	EFICIENCIA	MANTEN.	SUMA	PONDERACIÓN
COSTO		1/5	10	1/10	10	1	10	1	1	33,3	0,191
REPETIBILIDAD	5		5	1/10	1	1	10	1	5	28,1	0,161
COMP. INSTALAC	1/10	1/5		1/10	1	1/5	5	1/5	1	7,8	0,045
SEGURIDAD	10	10	10		5	1	5	5	1	47	0,270
CONTROL	1/10	1	1	1/5		1/5	1	1/5	1	4,7	0,027
PRECISIÓN	1	1	5	1	5		5	1	5	24	0,138
VEL. AVANCE	1/10	1/10	1/5	1	1	1/5		1/5	1	3,8	0,022
EFICIENCIA	1	1	5	1/5	5	1	5		1	19,2	0,110
MANTEN.	1	1/5	1	1	1	1/5	1	1		6,4	0,037
									TOTAL	174,3	1,000

Nota: Cada criterio se confronta uno con otro para obtener un valor numérico representativo.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

#### 1.6.4.2. Matriz de costo

Tabla 13.

Comparación del costo entre los mecanismos

COSTO	TORNILLO DE BOLAS	MOTORES LINEALES	CREMALLERA	SUMA	PONDERACIÓN
TORNILLO DE BOLAS		10	10	20	0,787
MOTORES LINEALES	1/10		1/5	0,3	0,012
CREMALLERA	1/10	5		5,1	0,201
			TOTAL	25,4	

Nota: En la tabla 13 se compara en una matriz el costo de cada sistema y se lo pondera.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

#### 1.6.4.3. Matriz de repetibilidad

Tabla 14.

Comparación de la repetibilidad entre los mecanismos.

REPETIBILIDAD	TORNILLO DE BOLAS	MOTORES LINEALES	CREMALLERA	SUMA	PONDERACIÓN
TORNILLO DE BOLAS		1/5	10	10,2	0,498
MOTORES LINEALES	5		5	10	0,488
CREMALLERA	1/10	1/5		0,3	0,015
			TOTAL	20,5	

Nota: En la tabla 14 se compara en una matriz la repetibilidad de cada sistema y se la pondera.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

#### 1.6.4.4. Matriz de complejidad de instalación

Tabla 15.

Comparación de la complejidad de instalación entre los mecanismos

COMPLEJ. INSTALACIÓN	TORNILLO DE BOLAS	MOTORES LINEALES	CREMALLERA	SUMA	PONDERACIÓN
TORNILLO DE BOLAS		10	5	15	0,732
MOTORES LINEALES	1/10		1/5	0,3	0,015
CREMALLERA	1/5	5		5,2	0,254
			TOTAL	20,5	

Nota: En la tabla 15 se compara en una matriz la complejidad de construcción de cada uno de los sistemas y se lo pondera.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

#### 1.6.4.5. Matriz de seguridad

Tabla 16.

Comparación de la seguridad entre los mecanismos

SEGURIDAD	TORNILLO DE BOLAS	MOTORES LINEALES	CREMALLERA	SUMA	PONDERACIÓN
TORNILLO DE BOLAS		1/5	10	10,2	0,402
MOTORES LINEALES	5		10	15	0,591
CREMALLERA	1/10	1/10		0,2	0,008
			TOTAL	25,4	

Nota: En la tabla 16 se compara en una matriz la seguridad de cada uno de los sistemas y se lo pondera.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

#### 1.6.4.6. Matriz de control

Tabla 17.

Comparación del control entre los mecanismos

CONTROL	TORNILLO DE BOLAS	MOTORES LINEALES	CREMALLERA	SUMA	PONDERACIÓN
TORNILLO DE BOLAS		10	5	15	0,732
MOTORES LINEALES	1/10		1/5	0,3	0,015
CREMALLERA	1/5	5		5,2	0,254
			TOTAL	20,5	

Nota: En la tabla 17 se compara en una matriz el tipo de control de cada uno de los sistemas y se lo pondera.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

#### 1.6.4.7. Matriz de precisión

Tabla 18.

Comparación de la precisión entre los mecanismos

PRECISIÓN	TORNILLO DE BOLAS	MOTORES LINEALES	CREMALLERA	SUMA	PONDERACIÓN
TORNILLO DE BOLAS		1/5	5	5,2	0,254
MOTORES LINEALES	5		10	15	0,732
CREMALLERA	1/5	1/10		0,3	0,015
			TOTAL	20,5	

Nota: En la tabla 18 se compara en una matriz el tipo de control de cada uno de los sistemas y se lo pondera.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

#### 1.6.4.8. Matriz de velocidad de avance

Tabla 19.

Comparación de la velocidad de avance entre los mecanismos

VEL. AVANCE	TORNILLO DE BOLAS	MOTORES LINEALES	CREMALLERA	SUMA	PONDERACIÓN
TORNILLO DE BOLAS		1/5	1/5	0,4	0,032
MOTORES LINEALES	5		1	6	0,484
CREMALLERA	5	1		6	0,484
			TOTAL	12,4	

Nota: En la tabla 19 se compara en una matriz la velocidad de avance de cada uno de los sistemas y se lo pondera.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

#### 1.6.4.9. Matriz de eficiencia

Tabla 20.

Comparación de la eficiencia entre los mecanismos

EFICIENCIA	TORNILLO DE BOLAS	MOTORES LINEALES	CREMALLERA	SUMA	PONDERACIÓN
TORNILLO DE BOLAS		1/5	5	5,2	0,254
MOTORES LINEALES	5		10	15	0,732
CREMALLERA	1/5	1/10		0,3	0,015
			TOTAL	20,5	

Nota: En la tabla 20 se compara en una matriz la eficiencia de cada uno de los sistemas y se lo pondera.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

#### 1.6.4.10. Matriz de mantenimiento

Tabla 21.

Comparación del mantenimiento entre los mecanismos

MANTENIMIENTO	TORNILLO DE BOLAS	MOTORES LINEALES	CREMALLERA	SUMA	PONDERACIÓN
TORNILLO DE BOLAS		1/5	10	10,2	0,402
MOTORES LINEALES	5		10	15	0,591
CREMALLERA	1/10	1/10		0,2	0,008
			TOTAL	25,4	

Nota: En la tabla 21 se compara en una matriz el mantenimiento de cada uno de los sistemas y se lo pondera.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

### 1.6.5. Resumen de criterios y ponderaciones

La tabla 22 muestra los valores obtenidos de la comparación de cada criterio

Tabla 22.

Resumen global de criterios

	COSTO	REPETIBILIDAD	COMPLEJ. INSTALACIÓN	SEGURIDAD	CONTROL	PRECISIÓN	VEL. AVANCE	EFICIENCIA	MANTENIMIENTO
TORNILLO DE BOLAS	0,787	0,498	0,732	0,402	0,732	0,254	0,032	0,254	0,402
MOTORES LINEALES	0,012	0,488	0,015	0,591	0,015	0,732	0,484	0,732	0,591
CREMALLERA	0,201	0,015	0,254	0,008	0,254	0,015	0,484	0,015	0,008

Nota: Con estos tres valores de cada criterio se procede a calcular un valor general.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

### 1.6.6. Resumen de la ponderación de cada criterio en la matriz general

Tabla 23.

Ponderación de cada criterio en la matriz general

	COSTO	REPETIBILIDAD	COMPLEJ. INSTALACIÓN	SEGURIDAD	CONTROL	PRECISIÓN	VEL. AVANCE	EFICIENCIA	MANTENIMIENTO
PONDERACIÓN GENERAL	0,191	0,161	0,045	0,270	0,027	0,138	0,022	0,110	0,037

Nota: Se encuentra un solo valor numérico representativo para cada criterio.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

“Para cada celda de la matriz de priorización se multiplica el valor obtenido de “ponderación del criterio” (para cada criterio) por el valor de “calificación de la opción” (para cada opción)” (Aiteco Consultores, 2012).

Se procede a formar una matriz final como se observa en la tabla 24.

### 1.6.7. Matriz final

Tabla 24.

Matriz final de ponderación

	COSTO	REPETIBILIDAD	COMPLEJ. INSTALACIÓN	SEGURIDAD	CONTROL	PRECISIÓN	VEL. AVANCE	EFICIENCIA	MANTENIMIENTO	TOTAL	ORDEN DE CONVENIENCIA
TORNILLO DE BOLAS	0,1504	0,0802	0,0327	0,1083	0,0197	0,0349	0,0007	0,0279	0,0147	0,4697	1º
MOTORES LINEALES	0,0023	0,0786	0,0007	0,1592	0,0004	0,1008	0,0105	0,0806	0,0217	0,4548	2º
CREMALLERA	0,0384	0,0024	0,0114	0,0021	0,0068	0,0020	0,0105	0,0016	0,0003	0,0755	3º

Nota: La alternativa que mayor valor numérico sume será la mejor, aplicable en este proyecto.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

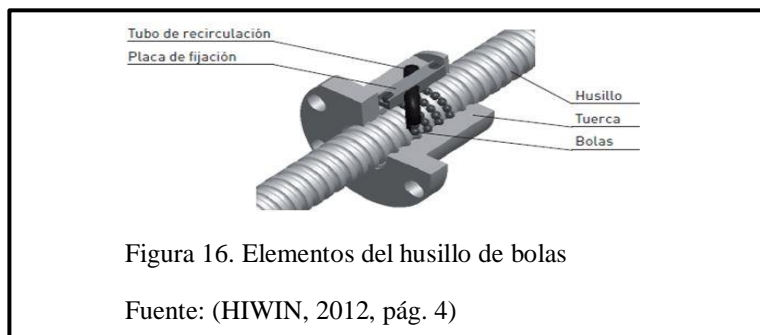
La tabla 24 posee una columna denominada total, en la cual se suman todos los anteriores valores calculados para cada criterio.

De lo cual se concluye que la mejor alternativa es el uso del tornillo de circulación de bolas (Husillo de bolas) con un valor de 0,4697 para convertir el movimiento

rotacional del motor de pasos a un movimiento de traslación el cual permita mover los tres ejes de coordenadas.

### 1.7. Husillo de bolas

El principio de funcionamiento es el de recirculación de las esferas, consiste en un eje roscado (tornillo sin fin), en este caso en particular el canal de la rosca tiene forma cilíndrica debido a la forma de las esferas que van a recircular por el mismo, consta también de un acoplamiento (tuerca) ver figura 16, a los cuales se monta y fija el conjunto mecánico a desplazar, el motor transmite la rotación al tornillo sin fin y el cuerpo del acoplamiento que en su interior tiene distribuidas las bolas se desplaza, arrastrando consigo el conjunto mecánico, como se observa en la figura 16.



*“El accionamiento contiene un conjunto de bolas en recirculación que garantizan la transmisión de esfuerzos del sinfín a la mesa con unas pérdidas de fricción mínimas”* (Cruz Teruel, 2005). El grupo motriz sinfín – acoplamiento, posee un embrague el cuál se desconecta en caso de existir colisiones con agentes externos durante el desplazamiento, para así salvaguardar el mecanismo.

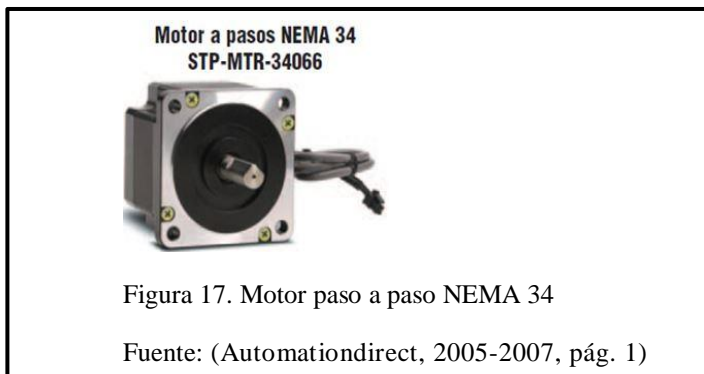
### 1.8. Motores paso a paso NEMA 34

Los motores paso a paso (PAP), son actuadores electromagnéticos capaces de convertir impulsos digitales en movimiento mecánico rotatorio como se observa en la



figura 17, el movimiento de rotación del motor está ligado proporcionalmente a la cantidad de pulsos entregados, mientras que la velocidad del motor varía según la frecuencia a la que se entregan los pulsos.

Los motores usados en el presente proyecto son de 200 pulsos por revolución, esto significa que por cada paso que el motor gira 1,8 grados, con ayuda de los drivers se convierte los pasos a micro pasos, con esto se obtiene 1600 pasos por revolución.



Como explica el catálogo de (Automationdirect, 2005-2007) en su página 3-2, las siguientes son las características del motor:

- El estilo cuadrado de la carcasa produce un alto torque y logra una mejor relación de volumen a torque.
- Rangos de torque con el eje detenido desde 83 a 434 onzas-pulgada o 0,59 hasta 3,06 N-m.
- Rebordes o bridas de montaje NEMA 17, 23 y 34.

### 1.9. Guías lineales SBR

Están compuestas por una barra de acero, la cual es templada, cromada y rectificada, en la misma se deslizan rodamientos lineales compuestos por un sistema de esferas, las cuales reducen el coeficiente de fricción, para permitir el funcionamiento adecuado del

sistema a guiar, el conjunto barra de acero y rodamiento lineal se apoya sobre una base de aluminio, como se puede observar en la figura 18.

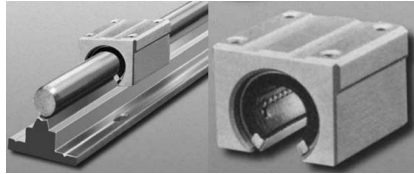


Figura 18. Conjunto guía SBR20



Fuente: (NBS, 2012, pág. 88)

### 1.10. Resultados del presente capítulo

En la tabla 25 se observa los resultados obtenidos en el presente capítulo, luego del análisis de las diferentes alternativas presentadas.

Tabla 25.

Resultados del capítulo

<b>Método de corte a utilizar</b>	<p>Corte con plasma PAC</p> 
<b>Sistema de transmisión seleccionado</b>	<p>Husillo de recirculación de bolas</p> 

Nota: Resultados obtenidos del presente capítulo.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

## CAPÍTULO II

### 2. CÁLCULOS

#### 2.1. Cargas aplicadas en el eje crítico “Y” de la máquina

“Las cargas que actúan sobre un sistema de movimiento lineal varían según la posición del centro de gravedad” (THK CO. LTD, 2013), por lo que el análisis se lo realiza tomando como referencia el caso crítico para para el eje “Y” de coordenadas.

##### 2.1.1. Cargas aplicadas en el eje “Y”

Se presenta como el eje crítico figura 19, porque es el responsable de mover la mayor magnitud de peso, debido a que los otros dos ejes X y Z se soportan sobre el mismo.



En la tabla 26 se indican las características que posee el eje crítico “Y”.

Tabla 26.

Características del eje “Y” a utilizar en el análisis

Datos	Valor	Unidades
Longitud de la flecha	600	mm
Masa a mover	63,8	kg
Masa antorcha	2,2	kg
Masa Total	66	kg
Gravedad	9,81	m/s <sup>2</sup>
Fuerza (W)	646,8	N

Nota: Datos a utilizar durante el cálculo.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

Como indica el catálogo de THK, (2013), en la figura 20, se presenta la distribución de cargas existentes en el sistema, la figura 21 indica la distribución y posición de las fuerzas en el eje crítico “Y” en el diseño del presente proyecto.

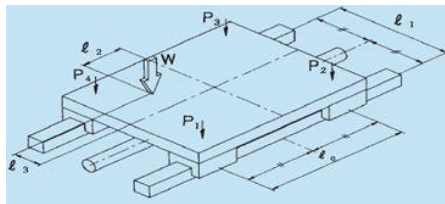


Figura 20. Esquema cargas resultantes en un sistema lineal

Fuente: (THK CO. LTD, 2013, pág. 9)

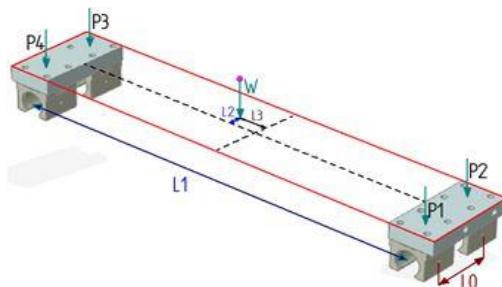


Figura 21. Esquema cargas resultantes en el eje “Y” de la cortadora plasma CNC

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

La figura 22 muestra las fórmulas para el cálculo de las cargas que actúan en el sistema, en la figura 23 se observa los datos a reemplazar y los resultados obtenidos.

$$P1 = \frac{W}{4} + \left( \frac{W}{2} \times \frac{L2}{L0} \right) - \left( \frac{W}{2} \times \frac{L3}{L1} \right)$$

$$P2 = \frac{W}{4} - \left( \frac{W}{2} \times \frac{L2}{L0} \right) - \left( \frac{W}{2} \times \frac{L3}{L1} \right)$$

$$P3 = \frac{W}{4} - \left( \frac{W}{2} \times \frac{L2}{L0} \right) + \left( \frac{W}{2} \times \frac{L3}{L1} \right)$$

$$P4 = \frac{W}{4} + \left( \frac{W}{2} \times \frac{L2}{L0} \right) + \left( \frac{W}{2} \times \frac{L3}{L1} \right)$$

**Dónde:**

W: Peso total del eje Y [N]

L0, L1, L2, L3 distancias [mm]

Figura 22. Fórmulas para el cálculo de las cargas

Fuente: (THK CO. LTD, 2013, pág. 9)

Datos a reemplazar		
L0	75	mm
L1	546	mm
L2	2,26	mm
L3	14,5	mm
Fuerza (W)	646,8	N

P1= 163,03 N

P2= 143,19 N

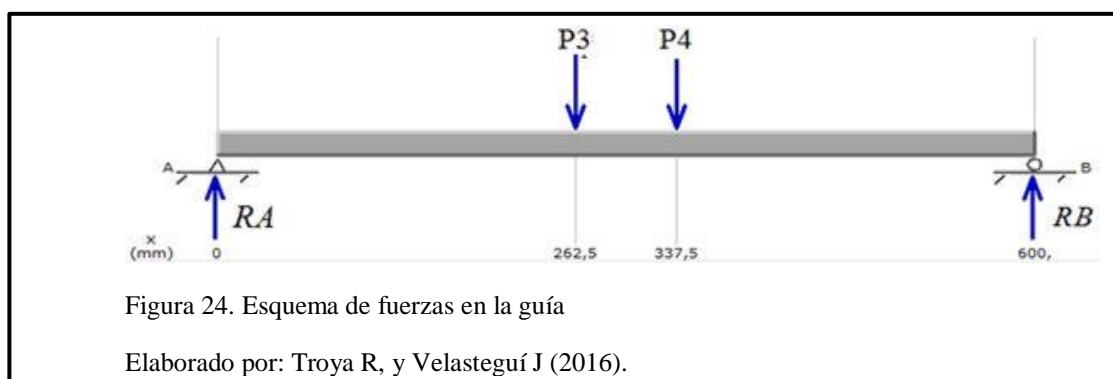
P3= 160,37 N

P4= 180,21 N

Figura 23. Datos a utilizar y resultados

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

Para continuar con el análisis se selecciona las fuerzas P3 y P4, debido a que son las cargas de mayor magnitud que actúan en los soportes, se procede a realizar el cálculo como si se tratará de una viga como se indica en la figura 24.



$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

$$P3 + P4 = RA + RB$$

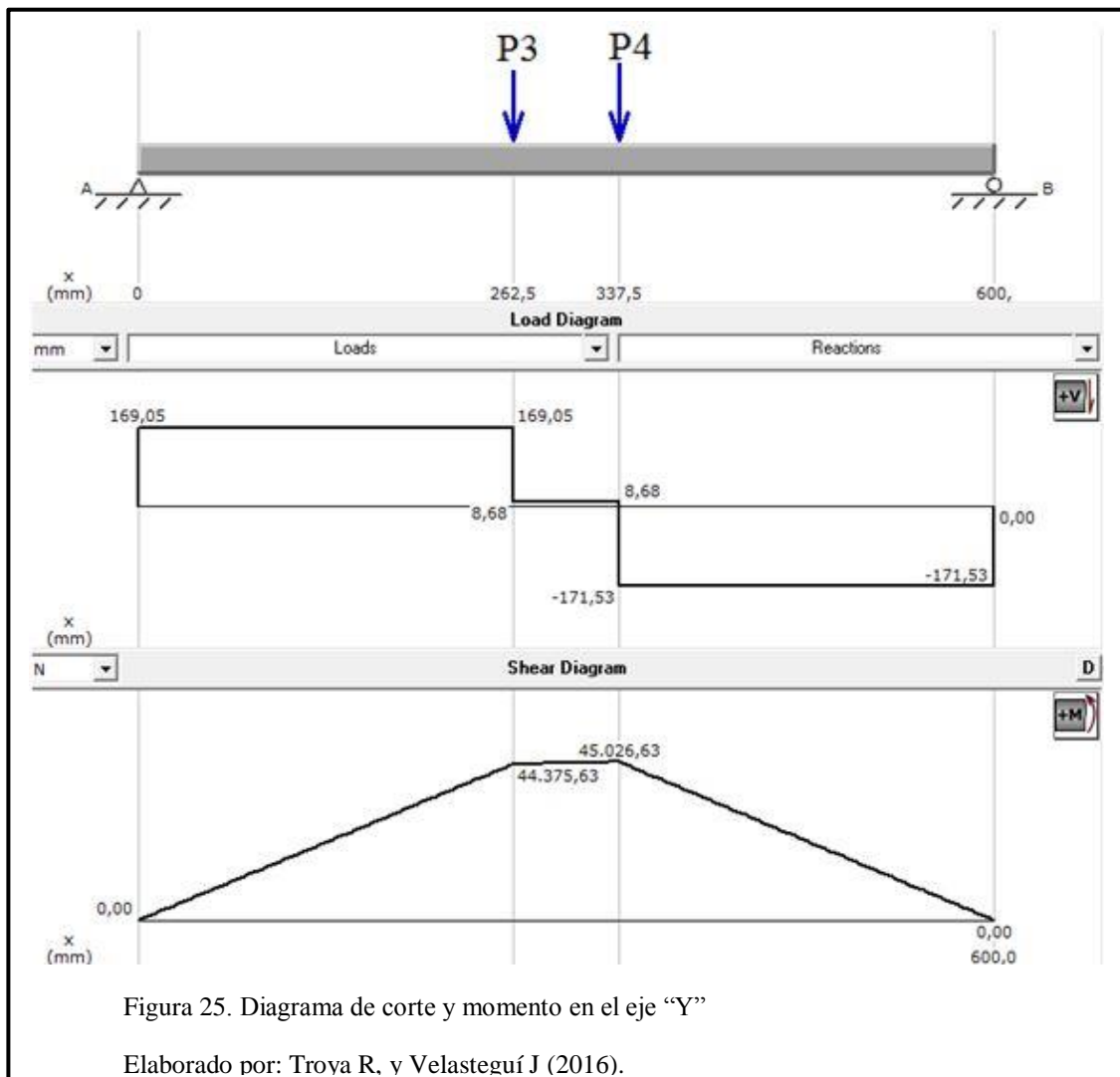
$$RB = \frac{P3 \, N \, (262,5 \, mm) + P4 \, N \, (337,5 \, mm)}{600 \, mm}$$

$$RA = 169,05 \, N$$

$$RB = 171,53 \, N$$

En la figura 25 se muestran los diagramas de corte y momento realizado con las reacciones encontradas anteriormente gracias a la sumatoria de fuerzas y momentos.

Una vez encontrado el momento máximo, se procede a calcular el diámetro de la guía, para lo cual se usa los datos de la tabla 27.



### 2.1.2. Cálculo del diámetro de las guías para el eje “Y”.

Tabla 27.

Datos para el cálculo del diámetro de las guías

Datos	Valor	Unidades
Sy Acero AISI 1045	310	MPa
Factor de seguridad $n$	2	
Momento Máximo $M_{\max}$	45026,63	N-mm

Nota: Datos a utilizar durante el cálculo.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

Cálculo del esfuerzo admisible

$$\sigma_{adm} = \frac{Sy}{n} \rightarrow \sigma_{adm} = 155 \text{ MPa}$$

Las guías están sujeta a un esfuerzo flexionante en tensión, en esta ocasión la guía no está sujeta a torsión, por lo que se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma_{adm} = \frac{32 M_{\max}}{\pi \cdot d^3}$$

Para calcular el diámetro se despeja  $d$  :

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 M_{\max}}{\pi \cdot \sigma_{adm}}}$$

**Donde**

$M_{\max}$	Momento máximo	[N-mm]
$\sigma_{adm}$	Esfuerzo admisible	[MPa]
$d$	Diámetro de la guía	[mm]

Se obtiene el valor de  $d=14,356$  mm, al ser este el eje que soporta la mayor magnitud de peso se eligen las guías SBR de  $d=20$  mm, por disponibilidad en el

mercado, se utilizan la misma clase y diámetro de guías para los tres ejes puesto que las guías se comercializan en juegos.

## 2.2. Cálculo del diámetro del tornillo del eje crítico “Y”

Se procede a elaborar el cálculo del diámetro del tornillo del eje “Y”, en el presente caso se muestra como el eje crítico responsable de mover la mayor magnitud de peso para el análisis estático se usan los datos proporcionados en las tablas 28 y 29.

### 2.2.1. Análisis estático

Tabla 28.

Datos tomados del diseño

DATOS		
Longitud del tornillo	474,2	mm
Factor de seguridad(n)	2	
Masa a mover(m)	11,2	kg
$P1 = m \times g$	109,8	N

Nota: Datos a utilizar durante el cálculo.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

Tabla 29.

Factor de seguridad estático

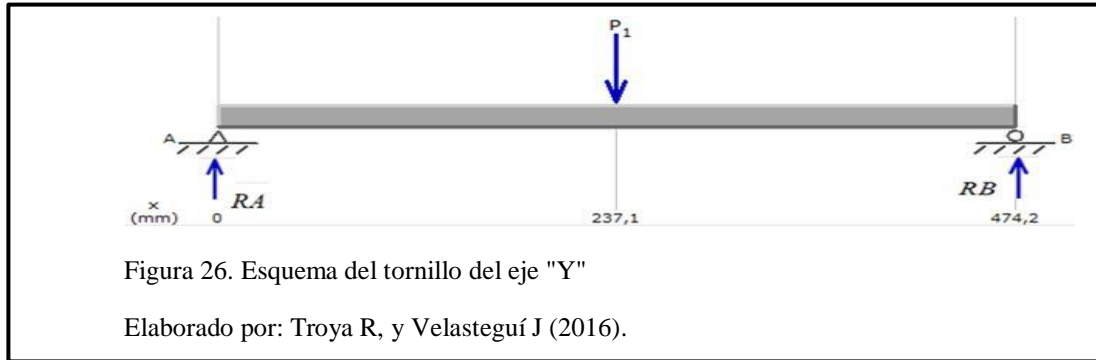
Máquina que utiliza el sistema LM	Condiciones de carga	Límite más bajo de $f_s$
Maquinaria industrial general	Sin vibración ni impacto	1,0 a 3,5
	Con vibración o impacto	2,0 a 5,0
Máquina-herramienta	Sin vibración ni impacto	1,0 a 4,0
	Con vibración o impacto	2,5 a 7,0

Nota: La máquina CNC no va a trabajar a vibración ni a impacto.

Fuente: (THK CO. LTD, págs. A15-39)



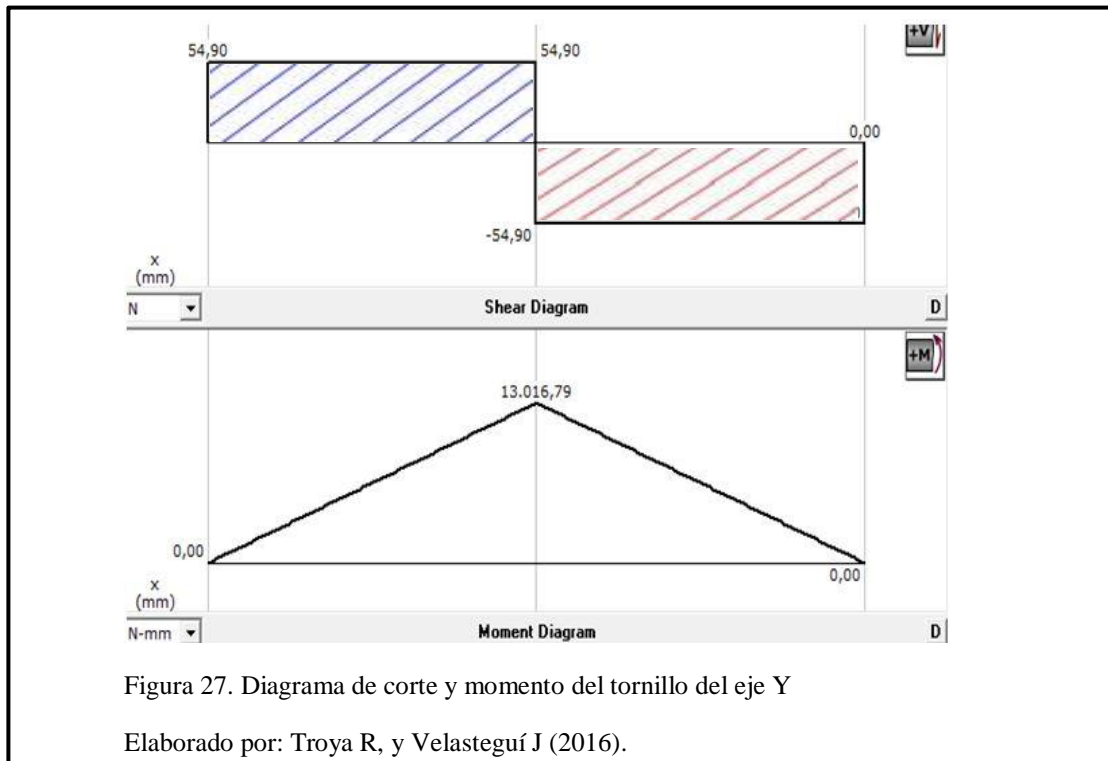
En la figura 26 se explica la posición y distribución de las cargas que actúan en el husillo de bolas, de esta manera se procede con el cálculo del diámetro del husillo.



$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B = P_1 \quad R_A = R_B = 54,88 \text{ N} \quad \text{Por simetría}$$

En la figura 27 se muestran los diagramas de corte y momento realizado por las reacciones encontradas anteriormente gracias a la sumatoria de fuerzas.



### 2.2.2. Diámetro del tornillo con análisis estático

Una vez encontrado el momento máximo, se procede a calcular el diámetro del tornillo del eje crítico, para lo cual se usa los datos de la tabla 30.

Tabla 30.

Datos a utilizar para el cálculo del diámetro del tornillo

Datos	Valor	Unidades
<b>Sy Acero AISI 1018</b>	220	<i>MPa</i>
<b>Factor de seguridad <math>n</math></b>	2	
<b>Momento Máximo <math>M_{\max}</math></b>	13016,79	<i>N-mm</i>

Nota: Datos a utilizar durante el cálculo.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

Se calcula el esfuerzo admisible

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n} \rightarrow \sigma_{adm} = 110 \text{ MPa}$$

Para el análisis estático del tornillo se utiliza la ecuación del esfuerzo flexionante

en tensión.

$$\sigma_{adm} = \frac{32 M_{\max}}{\pi \cdot d^3}$$

Para el cálculo del diámetro se despeja  $d$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 M_{\max}}{\pi \cdot \sigma_{adm}}}$$

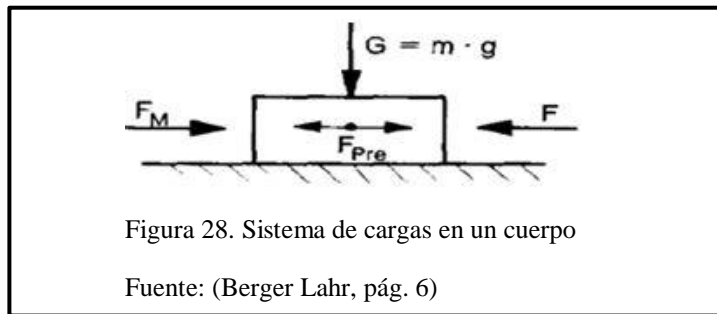
**Donde**

$M_{\max}$	Momento máximo	$[N-mm]$
$\sigma_{adm}$	Esfuerzo admisible	$[MPa]$
$d$	Diámetro de la guía	$[mm]$

Se obtiene el valor de  $d=10,66$  mm, este valor se verificará con el análisis dinámico del tornillo en el cual se evalúa la torsión mediante fatiga.

### 2.2.3. Cálculo del torque del motor

Para el cálculo del torque del motor se usa el catálogo de BERGER LAHR en la selección de los motores a pasos utilizados en el presente proyecto, en la figura 28 se muestra el sistema de fuerzas presentes para el cálculo, la figura 29 proporciona datos del coeficiente de fricción, eficiencia y precarga de un husillo de bolas.



$$F = \mu \cdot G + F_M + F_{Pre} \quad [N]$$

Donde

$G$	Peso del carro y estructura	$[N]$
$F_M$	Fuerza motriz	$[N]$
$F_{Pre}$	Fuerza de precarga de la tuerca	$[N]$
$\mu$	Coeficiente de fricción	
$m$	Masa	$[kg]$
$g$	Gravedad	$[m/s^2]$
$F$	Carga total en la tuerca del husillo	$[N]$

Values for $\mu$	Dry	Lubricated	Experience Values
Steel on steel	0,18	0,12	$\eta = 0.9$ for ball bearing spindles (see figure)
Steel on cast iron	0,19	0,10	$\eta = 0.3$ for steel spindles with bronze nut
Steel on bronze	0,11	0,10	$r_a \cdot \mu_a = 0.015$ cm for roller bearing
Axial Guide			$r_a \cdot \mu_a = 0.15$ cm for steel/bronze friction bearings
Rolling friction, Rollers	-	0,005	<b>F<sub>Prestress</sub></b>
			At 10% Prestress and h = 5 mm: approx. 11 to 15 N
			At 20% Prestress and h = 5 mm: approx. 22 to 30 N
			At 10% Prestress and h = 10 mm: approx. 40 to 60 N
			At 20% Prestress and h = 10 mm: approx. 80 to 120 N

Figura 29. Coeficientes de fricción, eficiencia y precarga de un husillo de bolas

Fuente: (Berger Lahr, págs. 5 y 6).

La tabla 31 proporciona los datos suficientes para la obtención del valor numérico del torque del tornillo a utilizar en el cálculo del análisis dinámico.

Tabla 31.

Datos a utilizar para el cálculo del torque

DATOS	Valor	Valor	OBSERVACIONES
Masa a mover	66 kg		
Peso eje “Y” $G$	647 N		
Coefficiente fricción $\mu$	0,18		
Eficiencia $n$	0,9		
Velocidad de corte	18 cm/s		Caso critico aluminio espesor 1,5 mm
Tiempo de posic./c 10 mm	0,5 s		
Apreciación	0,025 mm		
Diámetro interno husillo	16,7 mm	1,67 cm	
Longitud del husillo	474,2 mm	47,42 cm	
Paso husillo $h$	5 mm	0,5 cm	
Carrera	400 mm	40 cm	
Precarga husillo 20%	30 N		
Densidad acero	7,85 kg/cm <sup>3</sup>		

Nota: Datos a utilizar durante el cálculo.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

$$\mu.G = 116,46 \text{ N}$$

$$F_M = 647 \text{ N}$$

$$F_{Pre} = 30 \text{ N}$$

$$F = \mu.G + F_M + F_{Pre}$$

$$F = 793,5 \text{ N}$$

**Carga total en el husillo de bolas**

Una vez encontrada la fuerza total, se puede calcular el torque existente en el husillo mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación para el cálculo del torque**

$$M_{Load} = F \left( \frac{h}{2\pi\eta} + r_B \cdot \mu_B \right)$$

**Fuente:** (Berger Lahr, págs. 5)

**Donde**

$h$	Paso del husillo	$[cm]$
$M_{Load}$	Par de la carga	$[N-cm]$
$\eta$	Eficiencia del tornillo de bolas	
$r_B$	Radio medio del cojinete del husillo	$[cm]$
$\mu_B$	Coeficiente de fricción en el cojinete	
$F$	Carga total en la tuerca del husillo	$[N]$

$$M_{Load} = 0.8206 \text{ N} - m \quad \textbf{Momento de la carga en el husillo (torque)}$$

#### 2.2.4. Determinación de los momentos de inercia para la selección del motor

El momento de inercia total es la suma de los momentos de inercia de rotación y traslación en el husillo.

$$J_{ext} = J_{rot} + J_{trasn}$$

**Donde**

$J_{ext}$	J total externa referenciada al eje del motor	$[kg-cm^2]$
$J_{rot}$	Momento de inercia rotacional	$[kg-cm^2]$
$J_{trasn}$	Momento de inercia de traslación	$[kg-cm^2]$

$$J_{rot} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r^4 \cdot L \cdot \gamma$$

**Donde**

$r^4$	Radio interno del husillo	$[cm]$
$L$	Longitud del husillo	$[cm]$
$\gamma$	Densidad del acero	$[kg / cm^3]$

$$J_{trans} = m \left( \frac{h}{2 \cdot \pi} \right)^2$$

**Fuente:** (Berger Lahr, págs. 8)

**Donde**

$m$	Masa a mover	$[kg]$
$h$	Paso del husillo	$[cm]$

$$J_{rot} = 0,58 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$J_{trans} = 0,42 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$J_{ext} = 1 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2 \quad \text{Momento de Inercia total en el eje del motor}$$

#### 2.2.5. Frecuencia de operación requerida.

$$f = \frac{V \cdot Z \cdot i}{h} \rightarrow f = 7200 \text{ s}^{-1}$$

**Fuente:** (Berger Lahr, págs. 8)

**Donde**

$f$	Frecuencia de operación	$[s^{-1}]$
$V$	Velocidad de corte	$[cm / s]$
$h$	Paso del husillo de bolas	$[cm]$
$i$	Relación de transmisión	

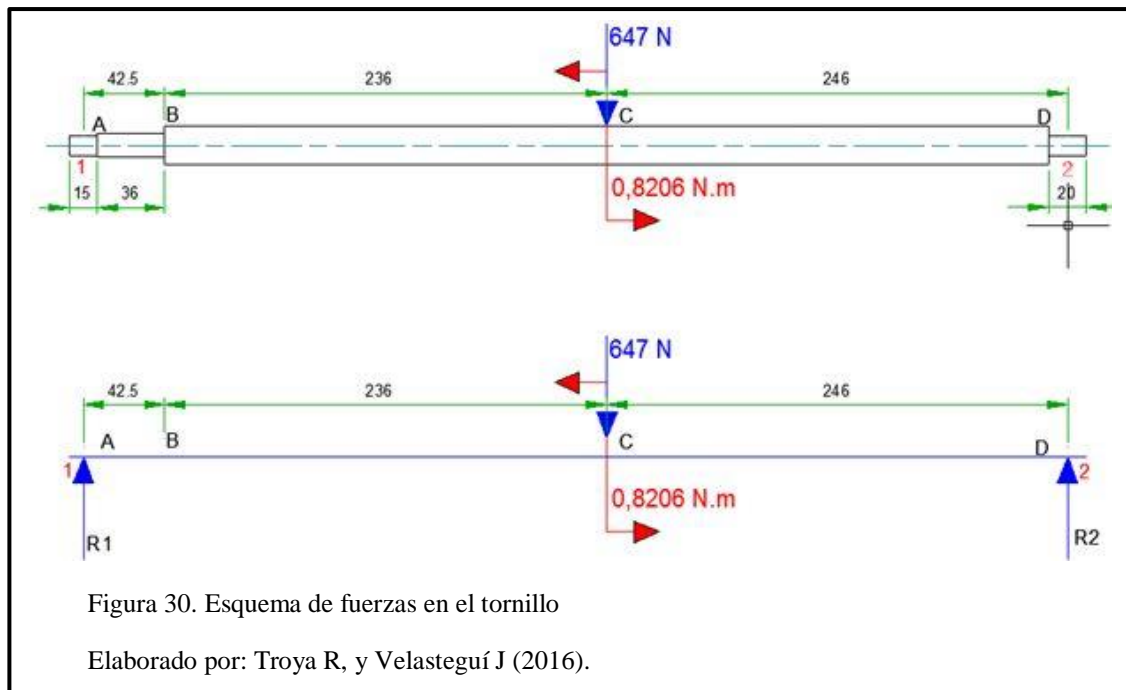
Con los siguientes criterios se procede a elegir el motor a utilizar con la ayuda del catálogo para la selección de motores a pasos.

1	$M_{Load} = 0.8206 \text{ N}\cdot\text{m}$
2	$J_{ext} = 1 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$
3	$f = 7200 \text{ s}^{-1}$

Los motores seleccionados son los NEMA 34 debido a que cumplen con los requisitos antes expuestos, se coloca los mismos motores en los tres ejes por cuestión de estética y disponibilidad en el mercado en la adquisición del juego completo de motores.

### 2.2.6. Análisis dinámico

Para el análisis dinámico se usa el método de fatiga de un cuerpo mecánico, en el cual interviene la ecuación de Euler. El análisis se lo realiza para el caso crítico en el cual todo el peso se encuentra en el centro del tornillo, como se indica en la figura 30.



$$\sum M_1 = 0$$

$$0,8206 \text{ N}\cdot\text{m} - 647 \text{ N} \cdot \frac{278,5}{1000} \text{ m} + R2 \cdot \frac{524,5}{1000} \text{ m} = 0$$

$$R2 = 342 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R1 + R2 = 647 \text{ N}$$

$$R1 = 305 \text{ N}$$

Las letras A,B,C y D representan en la figura 31 los cambios de sección existentes en el husillo de bolas, mientras que los número 1 y 2 representan los dos apoyos en los cuales se encuentra el husillo en la máquina.

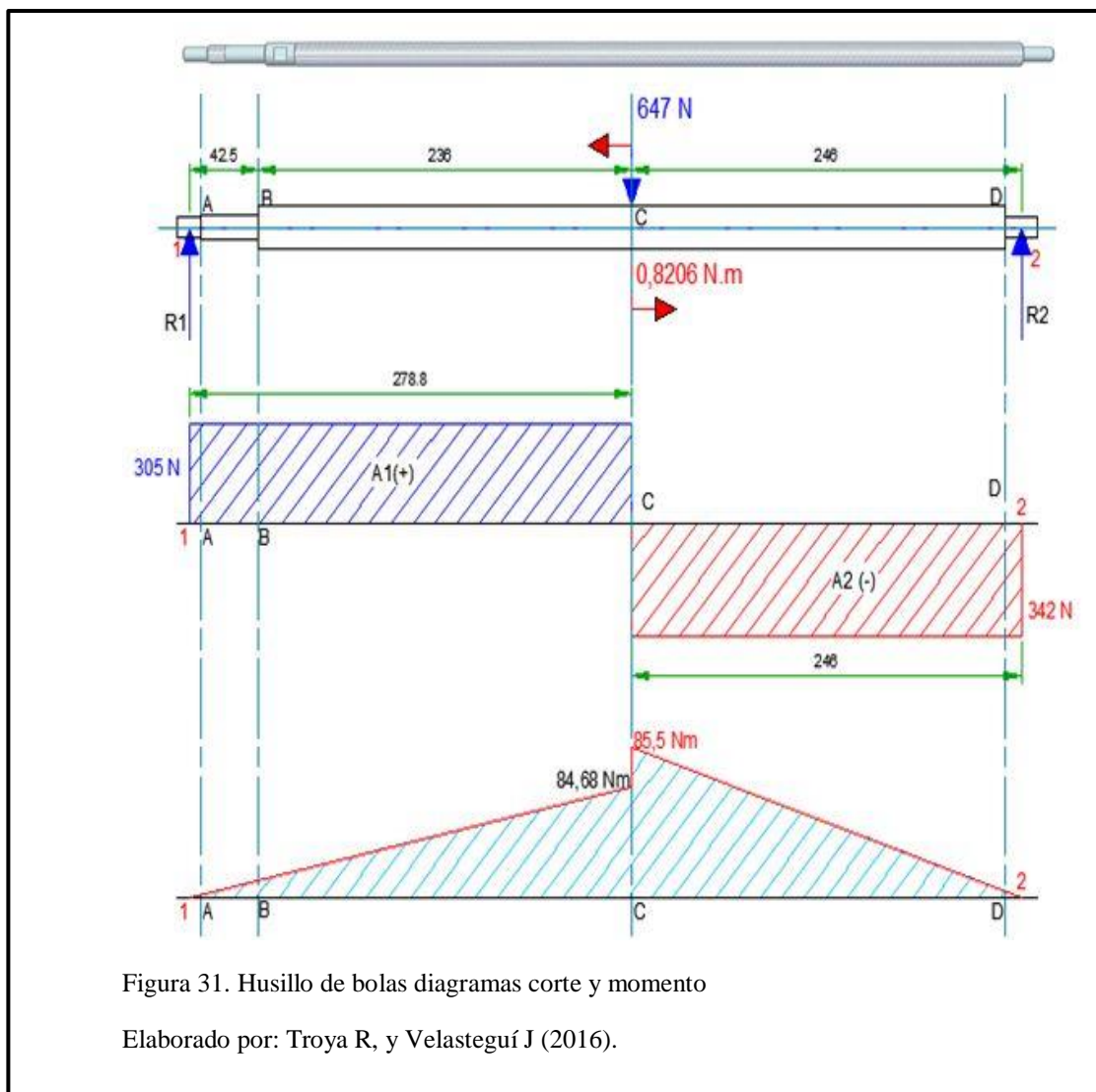


Figura 31. Husillo de bolas diagramas corte y momento

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).



Con el diagrama de corte y utilizando las reacciones en 1 y 2 se puede calcular los momentos para poder elegir el momento máximo que nos servirá para el cálculo del diámetro del tornillo.

$$M_1 = R_1 \cdot d_1$$

$$M_2 = R_2 \cdot d_2$$

$$M_1 = 84,68 \text{ N-m}$$

$$M_2 = 85,5 \text{ N-m} \text{ **Momento máximo**}$$

### 2.2.7. Diámetro del tornillo con análisis dinámico

La tabla 32 proporciona los datos suficientes para la obtención del valor numérico del diámetro del tornillo a utilizar en el eje crítico.

Tabla 32.

Datos a utilizar para el cálculo del diámetro del tornillo

Datos	Valor	Unidades
<b>Sy Acero AISI 1018</b>	220	<i>MPa</i>
<b>Factor de seguridad <math>n</math></b>	2	
<b>Momento Máximo <math>M_{\max}</math></b>	85500	<i>N-mm</i>
<b>Torque del husillo <math>\tau</math></b>	820,6	<i>N-mm</i>

Nota: Datos a utilizar durante el cálculo.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

Se calcula el esfuerzo admisible

$$\sigma_{adm} = \frac{Sy}{n} \rightarrow \sigma_{adm} = 110 \text{ MPa}$$

Para el análisis dinámico del tornillo se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\sigma = \frac{32 M_{\max}}{\pi \cdot d^3}$$

**Ec. Esfuerzo flexionante en tensión**

$$\tau = \frac{16T}{d^3 \pi}$$

**Ec. Esfuerzo torsional**

$$|\sigma_{eq}| = \sqrt{\left(\frac{32M_{\max}}{d^3\pi}\right)^2 + 3\left(\frac{16T}{d^3\pi}\right)^2} \quad \text{Ec. del esfuerzo equivalente}$$

**Fuente:** (Budynas & Nisbett, 2012, pág. 215)

**Donde**

$M_{\max}$	Momento máximo	$[N\cdot mm]$
$ \sigma_{eq} $	Esfuerzo equivalente	$[MPa]$
$d$	Diámetro de la guía	$[mm]$
$T$	Torque del husillo	$[N\cdot mm]$

Se despeja  $d$  (diámetro) de la ecuación del esfuerzo equivalente.

$$d = \sqrt[6]{\frac{(32 M_{\max})^2 + 3 (16 T)^2}{(\sigma_{adm})^2 \pi^2}} \quad d = 19,89 \text{ mm}$$

Para lo cual se selecciona un husillo de bolas de diámetro 20 mm, el mismo que se utilizará en los tres ejes por cuestión de estética y disponibilidad en el mercado ya que los mismos se comercializan en juego.

Al existir diversos cambios de sección en el husillo se procede a identificar la zona crítica, los cambios de sección están identificados con las letras A, B, C y D, se procede a calcular el momento en cada punto.

$$\frac{M_1}{d_1} = \frac{M_A}{d_A} \rightarrow M_A = \frac{84,68 \text{ N}\cdot\text{m} \cdot 0,0065 \text{ m}}{0,2788 \text{ m}} \rightarrow M_A = 1,97 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\frac{M_1}{d_1} = \frac{M_B}{d_B} \rightarrow M_B = \frac{84,68 \text{ N}\cdot\text{m} \cdot 0,0425 \text{ m}}{0,2788 \text{ m}} \rightarrow M_B = 12,91 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\frac{M_2}{d_2} = \frac{M_D}{d_D} \rightarrow M_D = \frac{85,5 \text{ N-m} \cdot 0,01 \text{ m}}{0,246 \text{ m}} \rightarrow M_D = 3,48 \text{ N-m}$$

Se deduce que la zona crítica se encuentra en B ya que ahí se genera el mayor momento, se procede a calcular el esfuerzo en esta zona:

$$\sigma_B = \frac{32M_{\max}}{d^3 \pi} \rightarrow \sigma_B = \frac{32 \cdot (12,91 \text{ N-m})}{(0,02 \text{ m})^3 \pi} \quad \sigma_B = 16,44 \text{ MPa}$$

### 2.2.8. Fórmula del límite de resistencia a la fatiga (ecuación de Marin)

$$Se = Se' \cdot ka \cdot kb \cdot kc \cdot kd \cdot ke$$

**Fuente:** (Budynas & Nisbett, 2012, pág. 273)

**Donde**

<i>Se</i>	Límite de resistencia a la fatiga	[MPa]
<i>Se'</i>	Límite de resistencia a la fatiga de una probeta	[MPa]
<i>Ka</i>	Factor de superficie	
<i>Kb</i>	Factor de tamaño	
<i>Kc</i>	Factor de carga	
<i>Kd</i>	Factor de temperatura	
<i>Ke</i>	Factor de efectos diversos	

Límite de resistencia a la fatiga en un eje rotatorio.

Datos		
<b>Sy Acero AISI 1018</b>	220	MPa
<b>Factor de seguridad n</b>	2	
<b>Sut Acero AISI 1018</b>	400	MPa

$$Se' = \frac{Sut}{2} \rightarrow Se' = 200 \text{ Mpa}$$

Nota: Datos a utilizar durante el cálculo.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012, pág. 1004)

### 2.2.8.1. Factor de superficie $K_a$

La tabla 33 indica los valores correspondientes al factor de superficie.

Tabla 33.

Factor de superficie

Acabado Superficial	Factor a		Exponente
	$S_{ut}$ , Kpsi	$S_{ut}$ , Mpa	b
Esmerilado	1.34	1.58	-0,085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0,265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0,718
Como sale de la forja	39.9	272	-0,995

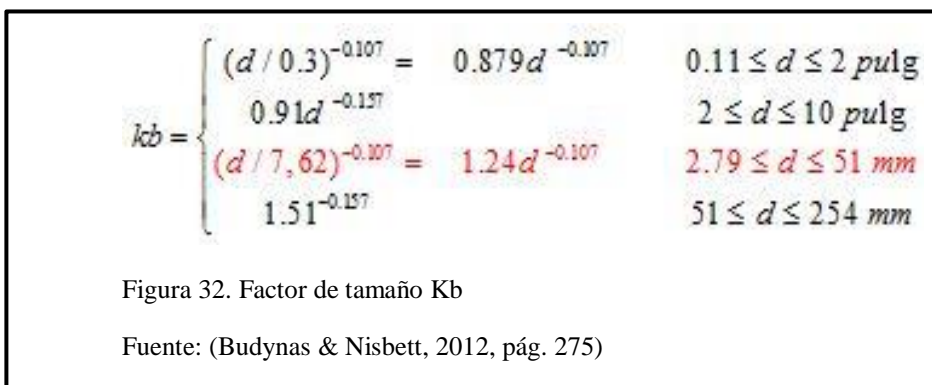
Nota: Para el presente caso se usa el valor del maquinado o laminado en frío.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012, pág. 274)

$$k_a = a \cdot s_{ut}^b \quad k_a = 0,922$$

### 2.2.8.2. Factor de tamaño $K_b$

La figura 32 indica los valores correspondientes al factor de tamaño para el presente caso se usa el valor de  $K_b = 0,902$ .



$$k_b = \left( \frac{d}{7.62} \right)^{-0.107} \quad k_b = 0,902$$

### 2.2.8.3. Factor de carga $K_c$

La figura 33 indica los valores correspondientes al factor de carga para el presente caso usamos el valor de  $K_c = 1$ .

$$K_c = \begin{cases} 1 & \text{Flexión} \\ 0.85 & \text{Axial} \\ 0.59 & \text{Torsión} \end{cases}$$

Figura 33. Factor de carga

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012, pág. 277)

$k_c = 1$  Esfuerzo combinado

“Cuando la torsión está combinada con otros esfuerzos, como la flexión  $K_c=1$ ”  
(Budynas & Nisbett, 2012, pág. 277).

### 2.2.8.4. Factor de temperatura $K_d$

La tabla 34 indica los valores correspondientes al factor de temperatura.

Tabla 34.

Factor de temperatura

°C	$K_d$
20	1
250	1
300	0,975
350	0,927
400	0,922
450	0,84
500	0,766

Nota: Para el presente caso se usa el valor de 1.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012, pág. 278)

#### 2.2.8.5. Factor de efectos diversos $K_e$

$$k_e = \frac{1}{k_f} \quad (\text{Budynas \& Nisbett, 2012, pág. 281})$$

**Donde**

$k_f$  Factor de concentración de esfuerzos

$$k_f = 1 + q (k_t - 1) \quad (\text{Budynas \& Nisbett, 2012, pág. 281})$$

**Donde**

$q$  Factor de sensibilidad

$k_t$  Factor de concentración

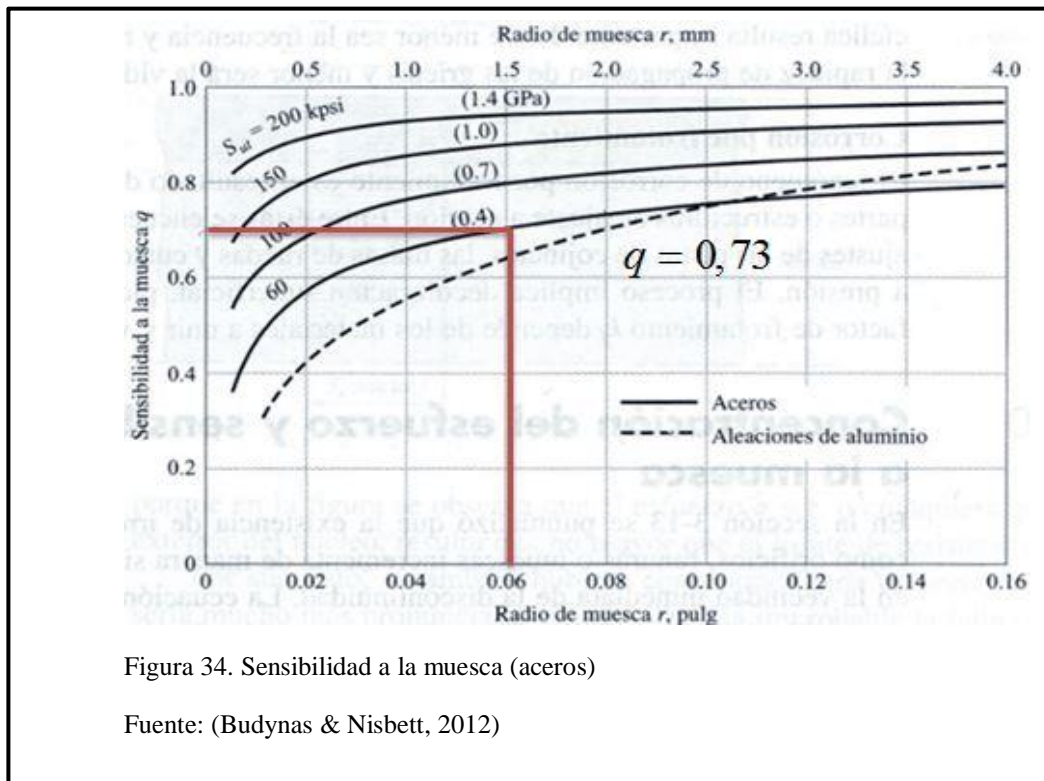


Figura 34. Sensibilidad a la muesca (aceros)

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

El valor de  $k_t$  se lo determina con la ayuda de la figura 35 que representa el anexo del libro de Shigley A15-8, con los siguientes parámetros:

$$D = 25 \text{ mm}$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$r = 2 \text{ mm}$$

$$\frac{D}{d} = \frac{25}{20} \rightarrow \frac{D}{d} = 1,25 \quad \frac{r}{d} = \frac{2}{20} \rightarrow \frac{r}{d} = 0,1$$

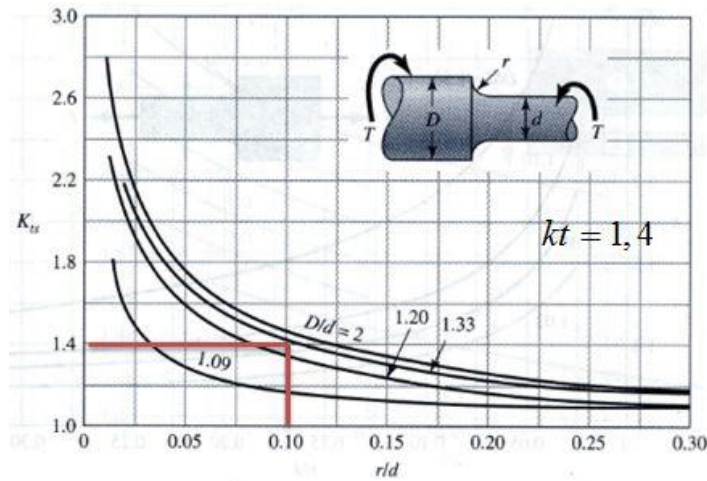


Figura 35. Eje redondo con filete en el hombro en torsión

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

**Por lo tanto:**

$$kf = 1 + 0,7 (1,4 - 1)$$

$$kf = 1,28$$

**Finalmente:**

$$ke = \frac{1}{1,28} \rightarrow ke = 0,781$$

Con los factores obtenidos, se calcula el límite de resistencia a la fatiga ( $Se$ ).

$$Se = 200 \text{ Mpa} \cdot 0,922 \cdot 0,902 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,781$$

$$Se = 129,903 \text{ MPa}$$

Esfuerzo en la zona crítica:  $\sigma = 16,44 \text{ MPa}$

$$129,903 \text{ MPa} > 16,44 \text{ MPa} \quad \therefore Se > \sigma_B \quad \text{Resiste a fatiga}$$

### 2.2.9. Estimación del número de ciclos hasta la falla por fatiga

$$a = \frac{(0,9S_{ut})^2}{S_e} ; \quad b = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{0,9S_{ut}}{S_e}\right) ; \quad N = \left(\frac{\sigma}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$$

(Budynas & Nisbett, 2012, pág. 272)

$$a = \frac{(0,9 \cdot 400MPa)^2}{129,903MPa} \rightarrow a = 997,667MPa$$

$$b = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{0,9 \cdot 400MPa}{129,903MPa}\right) \rightarrow b = -0,148$$

$$N = \left(\frac{16,44MPa}{997,667MPa}\right)^{\frac{1}{-0,148}} \rightarrow N = 1,117 \times 10^{12}$$

Como  $N > 10^6$   $\therefore$  El eje posee vida infinita

### 2.3. Análisis de la estructura

Para el cálculo de la estructura de la máquina, ver figura 36, se analizaron los elementos críticos de la misma, como son las vigas que sostendrán la máquina y las columnas en la que se apoya, incluyendo los pesos de la máquina plasma, la computadora y los controladores.



Figura 36. Estructura metálica de la máquina

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).



### 2.3.1. Análisis de las vigas

Para el análisis en las vigas se comienza por encontrar el peso total como se ve en la tabla 35 para realizar el cálculo:

Tabla 35.

Datos para el análisis de las vigas

Datos	Valor	Unidades
Peso de la máquina $W_{Ma}$	1372	$N$
Peso perfil 70x30x2 $W_{Pe}$	2,34	$kg / m$
Longitud de la viga $L_v$	0,6	$m$
Gravedad $g$	9,81	$m / s^2$

Nota: Datos a utilizar para el cálculo.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

En la parte superior de la estructura se encuentran las vigas, al tratarse de dos el peso total de la máquina se divide para dos, a ello se le suma el peso del perfil de longitud 0,6m, de esta manera se encuentra el peso total para el análisis.

$$WT = \frac{W_{Ma}}{2} + (W_{Pe} \cdot L_v \cdot g)$$

$$WT = 699,76 \, N \quad \text{Para el análisis se trabaja con} \quad WT = 700 \, N$$

Los extremos de la viga se consideran empotrados puesto que se encuentran soldados a la estructura, para ello se utiliza las fórmulas del manual of STEEL CONSTRUCTION de la AISC figura 38, el análisis se lo realiza de igual manera para el caso crítico en el cual todo el peso de la máquina se encuentre en la mitad de la viga como se indica en la figura 37.

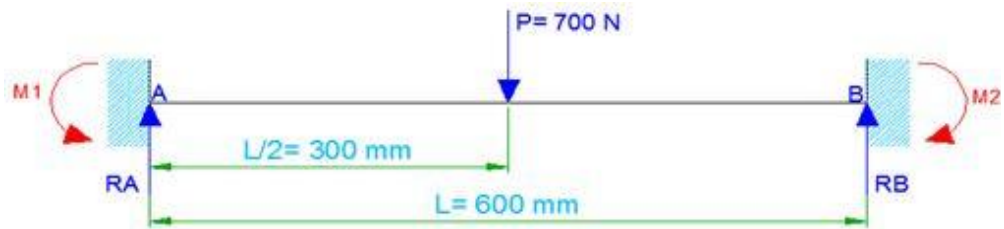


Figura 37. Esquema de la viga a analizar

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

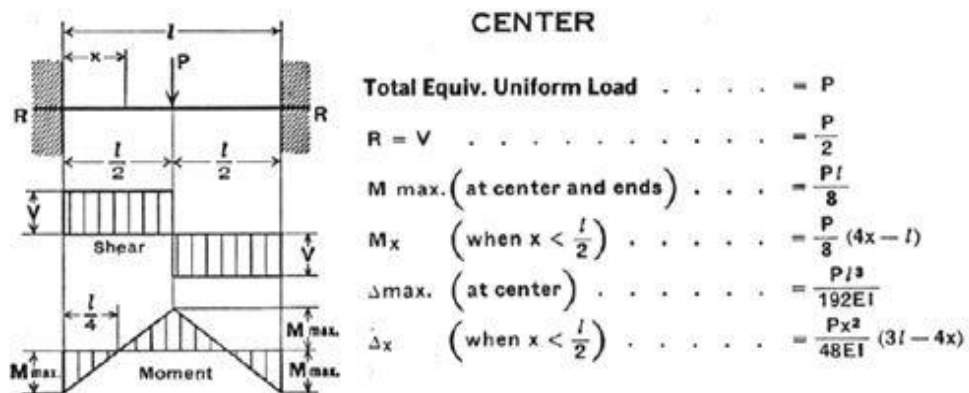


Figura 38. Fórmulas y diagramas en una viga

Fuente: (American Institute of steel Construction INC., págs. 2-301)

La tabla 36 presenta los datos para el cálculo de las reacciones y momento máximo de la viga para el presente caso, en la figura 39 se observa los diagramas de corte y momento.

Tabla 36.

Datos de la carga y longitud de la viga

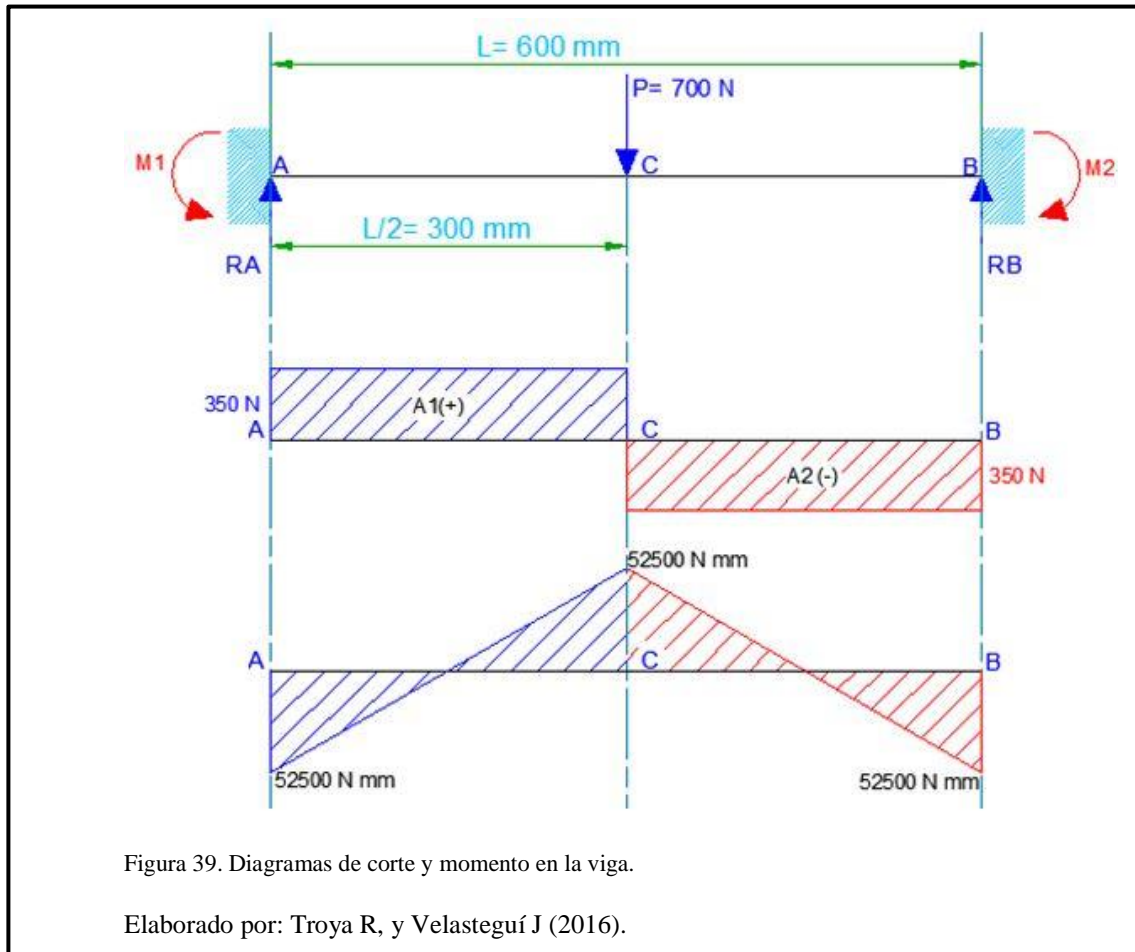
Datos	Valor	Unidades
Carga $P$	700	$N$
Longitud de la viga $L$	600	$mm$

Nota: Datos a utilizar para el cálculo.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

$$R_A = R_B = 350 \text{ N}$$

$$M_{\max} = M_1 = M_2 = 52500 \text{ N}\cdot\text{mm}$$



### 2.3.2. Comprobación del diseño de la viga por flexión

Como se puede observar la viga está sujeta a flexión por lo que se utiliza la ecuación del esfuerzo real a flexión:

$$fbx = \frac{M_{\max}}{S_x}$$

**Donde**

$M_{\max}$	Momento máximo	$[N\cdot mm]$
$fbx$	Esfuerzo real a flexión	$[MPa]$
$S_x$	Módulo de la sección respecto al eje $x$	$[mm^3]$

Datos	Valor	Unidades
<b>Momento Máximo <math>M_{\max}</math></b>	52500	$N$
<b><math>S_x</math> Catálogo Dipac</b>	3170	$mm^3$
<b><math>S_y</math> Acero A500 grado A</b>	269	$MPa$

Nota: Datos a utilizar para el cálculo.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

$$fbx = 16,56 \text{ Mpa}$$

A continuación se procede a calcular el esfuerzo admisible a flexión para lo cual se utiliza la siguiente ecuación, se tiene en cuenta que la viga posee soporte lateral:

$$Fb = 0,66 Sy \quad Fb = 177,54 \text{ MPa}$$

Finalmente se encuentra el factor de seguridad con el que la viga está trabajando:

$$Fs = \frac{Fb}{fbx} \quad Fs = 10,72$$

Se mantiene el perfil tubo rectangular de 70x30x2 mm para el marco superior de la estructura ya que nos brinda un factor de seguridad de 10,72.

### 2.3.3. Comprobación del diseño de la viga por deflexión.

Para el presente análisis se debe encontrar la deflexión admisible de la viga  $[\Delta]$ , esta debe ser mayor a la máxima deflexión de la viga debida el peso de la máquina  $\Delta$ , para que cumpla con la condición de deflexión, la tabla 37 proporciona los datos necesarios.

$$\Delta \leq [\Delta] \quad \text{Condición para que se cumpla por deflexión}$$

Tabla 37.

Datos para el análisis de deflexión

Datos	Valor	Unidades
Carga “ $P$ ”	700	$N$
Longitud de la viga “ $L$ ”	600	$mm$
Módulo de Elasticidad acero “ $E$ ”	210000	$MPa$
Inercia del perfil en el eje X “ $I$ ”	58500	$mm^4$

Nota: Datos a utilizar para el cálculo.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

### 2.3.3.1. Deflexión admisible

$$[\Delta] = \frac{L}{500} \quad [\Delta] = 1,2 \text{ mm}$$

**Donde**

$L$	Longitud de la viga	$[N.mm]$
$[\Delta]$	Deflexión admisible de la viga	$[mm]$

### 2.3.3.2. Deflexión máxima de la viga debido a la carga

$$\Delta_{Max} = \frac{P L^3}{192 E I}$$

**Donde**

$L$	Longitud de la viga	$[mm]$
$P$	Carga en el centro de la viga	$[N]$
$E$	Módulo de elasticidad del acero	$[MPa]$
$I$	Inercia del perfil en el eje X	$[mm^4]$

$$\Delta_{Max} = 0,065 \text{ mm}$$

Como se puede observar:  $\Delta_{Max} = 0,065 \text{ mm} < [\Delta] = 1,2 \text{ mm}$ , por lo que se concluye que el diseño de la viga cumple por deflexión.

#### 2.3.4. Análisis de las columnas

Como se observa en la figura 40 la estructura posee 4 patas, por lo cual el peso de la máquina sumado el peso del marco superior (vigas), el peso de la máquina plasma y el peso de la computadora con los controladores se divide para cuatro, la tabla 38 proporciona los datos para el cálculo del peso total.

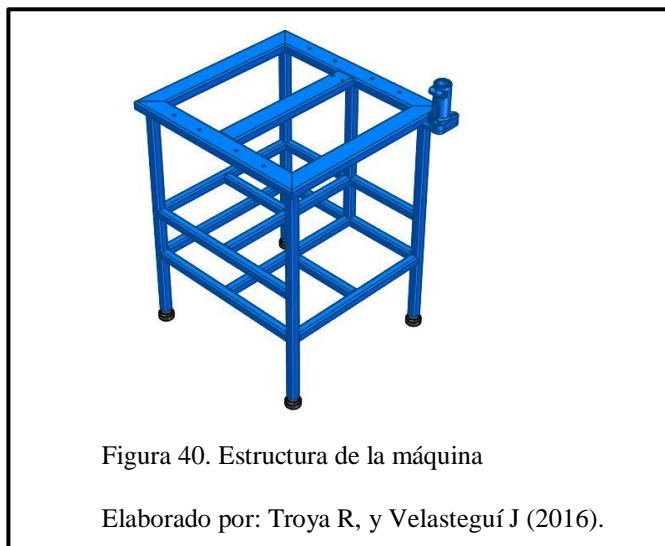


Tabla 38.

Pesos de los elementos para el cálculo

Datos	Valor	Unidades
<b>Peso de la máquina</b> $W_{Ma}$	1372	$N$
<b>Peso del marco superior</b> $W_{Mar}$	46	$N$
<b>Peso de la máquina plasma</b> $W_{Pla}$	100	$N$
<b>Peso computadora</b> $W_{Comp}$	50	$N$

Nota: Sumatoria de todos los pesos.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

**Peso total:**  $W_{Tot} = 1568 \text{ N}$  por facilidad se trabajará con  $W_{Tot} = 1570 \text{ N}$

Peso para el análisis  $P$  es igual a  $\frac{W_{Tot}}{4}$  al existir cuatro patas en la estructura.

$$P = 392,5 \text{ N}$$

El perfil seleccionado en la estructura es el tubo cuadrado 30x30x2 mm, el mismo que es de fácil adquisición en el medio local, del catálogo (DIPAC, 2014) se extrajeron las características de la tabla 39:

Tabla 39.

Valores referenciales del catálogo DIPAC

Datos	Valor	Unidades
$r_{\min}$ Catálogo Dipac	11,3	mm
Sy Acero A500 grado A	269	MPa
Longitud de la columna $L$	775	mm
Factor $k$ tabulado	0,65	
Área del perfil	214	mm <sup>2</sup>

Nota: Datos a utilizar para el cálculo.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

#### 2.3.4.1. Fórmula de la esbeltez

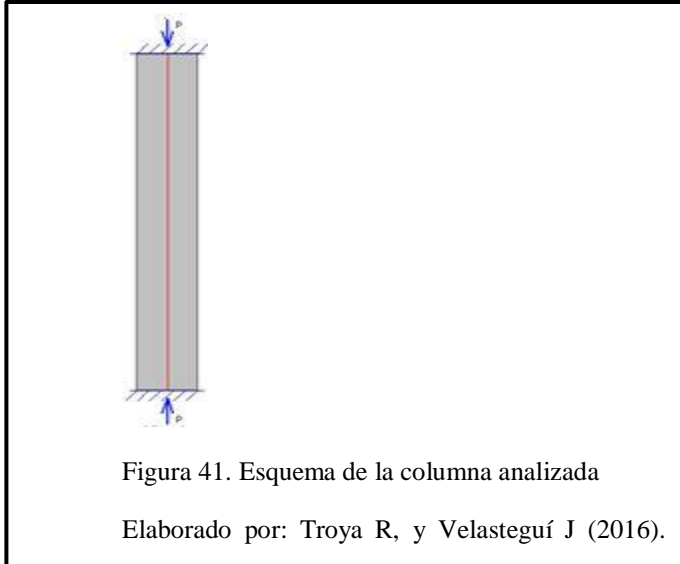
$$\lambda = \frac{k L}{r_{\min}}$$

**Donde**

$L$	Longitud de la columna	[mm]
$k$	Factor disposición de los apoyos	
$r_{\min}$	Radio de giro	[mm]

**Esbeltez de la columna**  $\lambda = 44,58 \leq 200$  **elemento a compresión**, en la

figura 41, se muestra un esquema de la columna.



### **Esfuerzo a compresión**

$$fa = \frac{P}{A}$$

**Donde**

$P$  Carga en la columna  $[N]$

$A$  Área del perfil  $[mm^2]$

$$fa = 1,83 \text{ MPa}$$

**Factor de seguridad**  $F_s = \frac{S_y}{fa}$   $F_s = 146,99$

Se procede a calcular la constante de la columna  $C_c$ , para determinar si se trata de una columna corta, intermedia o larga.



#### 2.3.4.2. Fórmula de la constante de la columna $C_c$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 E}{S_y}} \quad C_c = 124,14$$

**Donde**

$E$  Módulo de elasticidad del acero  $[Mpa]$

$S_y$  Esfuerzo permisible del material  $[Mpa]$

$C_c$  Constante de la columna

$30 \leq \lambda \leq C_c$  **Condición para ser un elemento intermedio**

$30 \leq 44,58 \leq 124,14$  **La columna es un elemento intermedio (ZONA II)**

Se procede a calcular el esfuerzo admisible  $Fa$ , para poder encontrar la máxima carga que soporta el perfil y poder compararla con la carga de diseño.

#### 2.3.4.3. Fórmula del esfuerzo admisible $Fa$ en la zona II

$$Fa_{Zona II} = \frac{S_y \left[ 1 - 0,5 \left( \frac{\lambda}{C_c} \right)^2 \right]}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left( \frac{\lambda}{C_c} \right) - \frac{1}{8} \left( \frac{\lambda}{C_c} \right)^3} \quad [Mpa]$$

**Donde**

$\lambda$  Esbeltez de la columna

$S_y$  Esfuerzo permisible del material  $[Mpa]$

$C_c$  Constante de la columna

$$Fa_{Zona II} = 140,16 \text{ MPa}$$

Con este valor se puede calcular la carga crítica que soporta el perfil, mediante la siguiente ecuación:

$$Fa_{Zona II} = \frac{P_{\max}}{A} \quad P_{\max} = 23,126 \text{ KN}$$

**Donde**

$P_{\max}$  Carga máxima que soporta la columna  $[N]$

$A$  Área del perfil  $[mm^2]$

Se puede concluir que el perfil cuadrado de 30x30x2 mm es el adecuado para la aplicación ya que la carga de diseño es menor a la carga crítica que soporta el perfil.

$$P = 392,5 \text{ N} < P_{\max} = 23,126 \text{ KN}$$

## **2.4. Cálculo de uniones apernadas**

### **2.4.1. Pernos inferiores de arrastre**

Se procedió a la comprobación de la junta propuesta en el diseño, con base en las especificaciones EAE, derivadas del EUROCODE 3.

La junta seleccionada es la más crítica porque es la que permite mediante su conexión mover la totalidad de los ejes X, Y e Z, para lo cual, consta de 2 pernos de cabeza tipo Allen M10x1,5 mm de paso, grado 5,8; con una distancia entre centros de 60 mm, la figura 42 y 43 presentan un esquema con la configuración de la junta y dimensiones para obtener los datos:

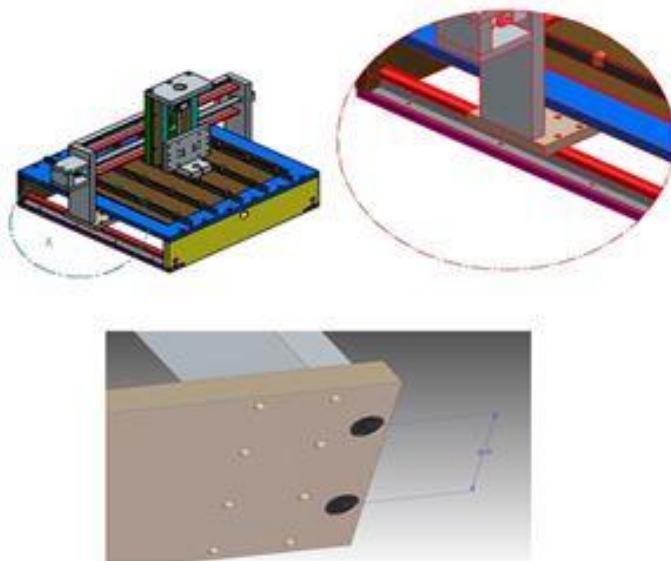


Figura 42. Unión apernada para el análisis

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

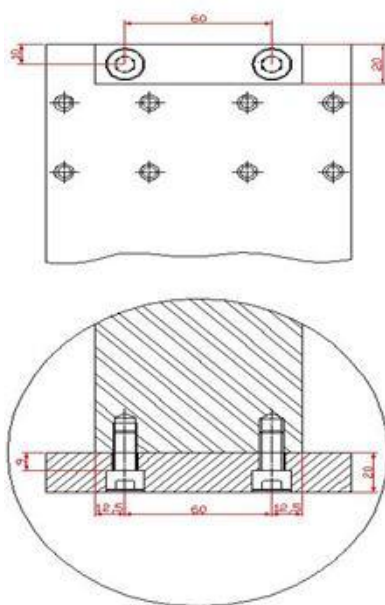


Figura 43. Dimensiones de la junta

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

Previo al cálculo se realizaron las siguientes consideraciones:

Se tiene una junta de tracción + cortante, y según EAE debe cumplir la siguiente relación:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 * F_{t,Rd}} \leq 1$$

**Donde**

$F_{v,Ed}$	Esfuerzo cortante que actúa sobre la junta	$N$
$F_{v,Rd}$	Resistencia a cortante de la unión para el perno empleado	$N$
$F_{t,Ed}$	Esfuerzo axial que actúa sobre la junta	$[N]$
$F_{t,Rd}$	Resistencia a tracción de la unión para el perno empleado	$[N]$

El valor de la carga total a moverse es  $F_{v,Ed} = 741,7 \text{ N}$ , siendo ésta la que produce un efecto cortante de plano simple (en un solo plano) en los pernos.

Se realizó la suposición de que los pernos serán apretados hasta su valor máximo, usando la siguiente expresión:

$$F_{t,Ed} = 0,7 * Sut * A_s * \text{número de pernos}$$

**Donde**

$F_{t,Ed}$	Fuerza de tracción máxima resultante del ajuste de los pernos	$[N]$
$Sut$	Esfuerzo último a tracción del perno	$[N / mm^2]$
$A_s$	Area resistente del perno	$[mm^2]$

**Para pernos grado 5,8**

$$Sut : 520 \frac{N}{mm^2}$$

**Fuente:** (Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 2006, pág. 716)

$$S_y : 415 \frac{N}{mm^2}$$

**Fuente:** (Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 2006, pág. 716)

**Área resistente del perno M10:**  $A_s : 58mm^2$  (Larburu, 1998, pág. 214).

Se realizan las operaciones y se obtuvo:

$$F_{t,Ed} = 42224 \text{ N}$$

Para las juntas a Cortante + Tracción se evaluó a cortante con aplastamiento y a tracción con punzonamiento, previo al análisis combinado.

#### 2.4.2. Resistencia a tracción

Se calculó el valor de la resistencia a la tracción de la unión que pueden soportar los pernos en la junta con la siguiente fórmula:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * S_{ut} * A_s}{\gamma_{Mb}} * \text{número de pernos}$$

**Donde**

$F_{t,Rd}$	Fuerza de tensión máxima de los pernos en la junta	$[N]$
$S_{ut}$	Esfuerzo último a tracción del perno	$[N / mm^2]$
$A_s$	Area resistente del perno	$[mm^2]$
$\gamma_{mb}$	Factor de seguridad de juntas empernadas	(1.25) (Eurocode 3)

$$F_{t,Rd} = 54288 \text{ N}$$

### 2.4.3. Resistencia al punzonamiento

Se determinó la resistencia de la unión al punzonamiento usando la relación:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 * \pi * d_m * t * Sut}{\gamma_{Mb}}$$

**Donde**

$d_m$	diámetro de la cabeza de perno Allen M10	$[mm]$
$t$	espesor del material presionado por la cabeza del perno	$[mm]$
$\gamma_{mb}$	factor de seguridad para juntas empernadas	

$$B_{p,Rd} = 112916,38 \text{ N}$$

La unión cumple la resistencia al punzonamiento, pues se tiene que:

$$B_{p,Rd} = 112916,38 \text{ N} \gg F_{t,Ed} = 42224 \text{ N}$$

### 2.4.4. Resistencia a cortante máxima de la unión

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 * Sut * A_s * \text{número de pernos}}{\gamma_{Mb}}$$

**Donde**

$F_{v,Rd}$	: Resistencia a cortante de la unión.	$[N]$
$Sut$	: Esfuerzo último a tracción del perno	$[N / mm^2]$
$A_s$	: Area resistente del perno	$[mm^2]$
$\gamma_{Mb}$	: Factor de seguridad de juntas empernadas	(1,25)

**Se obtiene**  $F_{v,Rd} = 28953.6 \text{ N}$

#### 2.4.5. Resistencia por aplastamiento

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 * \alpha * d_A * t * S_y}{\gamma_{mb}}$$

**Donde**

$d_A$       diámetro de la perforación de alojamiento del perno      (mm)

$t$           espesor del material      (mm)

$\gamma_{mb}$       factor de seguridad para juntas empernadas

$\alpha$ :      menor valor de:  $\frac{e_1}{3 * d_o}$ , ó bien  $\frac{p_1}{3 * d_o} - \frac{1}{4}$ , ó bien  $\frac{S_{ut}}{S_y}$ , ó bien 1,00

**Donde**

$d_o$  = Diámetro del agujero de alojamiento del perno.

Se operó y se obtiene el siguiente resultado:

$$F_{b,Rd} = 31138,695 \text{ N}$$

Cumple por aplastamiento, por la afirmación de la relación:

$$F_{b,Rd} = 31138,695 \text{ N} \gg F_{v,Ed} = 741,7 \text{ N}$$

#### 2.4.6. Análisis a tracción

El esfuerzo de tracción actuante sobre la unión es:

$$F_{t,Ed} = 42224 \text{ N}$$

Y el esfuerzo a la tracción que tiene la unión para los pernos seleccionados es:

$$F_{t,Rd} = 54288 \text{ N}$$

Se observa que cumple por tracción, como se indica:

$$F_{t,Rd} = 54288 \text{ N} \gg F_{t,Ed} = 42224 \text{ N}$$

#### 2.4.7. Análisis a cortante

El esfuerzo a cortante actuante sobre la unión es:

$$F_{v,Ed} = 741.7 \text{ N}$$

Y el esfuerzo a corte que tiene la unión para los pernos M10x1.5 mm es:

$$F_{v,Rd} = 28953.6 \text{ N}$$

Se observa que cumple por cortante, como se indica:

$$F_{v,Rd} = 28953.6 \text{ N} \gg F_{v,Ed} = 741.7 \text{ N}$$

#### 2.4.8. Análisis combinado

Para el cumplimiento a cortante + tracción se debe cumplir la condición:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 * F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{741.7 \text{ N}}{28953.6 \text{ N}} + \frac{42224 \text{ N}}{1.4 * 54288 \text{ N}} \leq 1$$

$0.58 \leq 1 \therefore$  La unión atornillada resulta válida.



## 2.5.Resultados obtenidos en el presente capítulo

En la tabla 40 se observa los resultados obtenidos en el presente capítulo, luego de concluir los cálculos pertinentes.

Tabla 40.

Resultados del capítulo

<b>Cargas aplicadas en el eje crítico</b>	P1= 163,03 N P2= 143,19 N P3= 160,37 N P4=180,21 N
<b>Diámetro de las guías SBR seleccionado para los tres ejes</b>	d= 20 mm
<b>Cálculo del torque necesario para los motores</b>	Torque= 0.8206 N.m
<b>Motores seleccionados</b>	Motores paso a paso NEMA 34
<b>Cálculo del diámetro del tornillo de bolas para los tres ejes</b>	d= 20 mm
<b>Cálculo de la frecuencia requerida para la operación del motor</b>	$f = 7200 \text{ s}^{-1}$
<b>Perfiles seleccionados para la estructura de la máquina</b>	Vigas: Tubo rectangular de 70x30x2 mm Columnas: Tubo cuadrado de 30x30x2 mm
<b>Juntas apernadas de la máquina</b>	El cálculo cumple por: Aplastamiento Tracción Cortante Combinado

Nota: Resumen del capítulo de cálculos.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

## **CAPÍTULO III**

### **3. COSTOS**

En el presente capítulo se detallan los datos relacionados con los factores económicos que intervienen en el proyecto tales como inversiones, ingresos, egresos y costos previstos para la construcción y funcionamiento del router CNC con el objetivo de realizar un análisis económico financiero.

Como fase previa se estimarán los costos, entendiéndose la palabra costo como “el desembolso en efectivo o especie hecho en el pasado, en el presente, en el futuro o en forma virtual” (Baca Urbina, 2001).

Para el caso en particular, “si un costo es hecho en el tiempo presente, al realizar la evaluación económica, este recibe el nombre de inversión” (Baca Urbina, 2001).

La inversión inicial está conformada por los gastos relacionados a los materiales, insumos, cuantificación de la mano de obra y demás factores humanos necesarios para la obtención de una máquina totalmente operativa y dentro de especificaciones de diseño presentadas en los capítulos anteriores. A continuación un detalle de la inversión inicial prevista:

#### **3.1. Inversión Inicial**

La inversión inicial se toma como la sumatoria de:

Costos de diseño, dirección técnica y trabajos de terceros (recursos humanos).

Costos de operaciones.

Costos de materia prima e insumos.

Costos de depreciación.

### 3.1.1. Costos de diseño, dirección técnica y trabajos de terceros

En general, son el resultado de la cuantificación de la participación manual e intelectual del ser humano para la elaboración del proyecto expresado en unidades de costo-hora como se puede apreciar en la tabla 42 y 43, para el cálculo se consideran: el valor del salario mínimo para el sector metalmecánico nivel B1 (Jefe de primer nivel), una semana laboral de 40 horas y un mes de cuatro semanas. (IESS, 2016), indicado en la tabla 41.

Tabla 41.

Valor del salario mínimo

<b>Cálculo costo hora</b>	
Salario mínimo metalmecánica nivel b1	\$380,71
Horas mensuales	160
Costo hora	<b>\$2,38</b>

Nota: Valor del salario mínimo para el sector metalmecánico.

Fuente: (IESS, 2016)

Tabla 42.

Diseño y dirección técnica

<b>Diseño y dirección técnica</b>	<b>Tiempo empleado y costo total</b>			
	Horas	Costo		
		Por hora	Núm. Personas	Total
Diseño	60	\$ 2,38	2	\$ 285,60
Pruebas y Ajustes	28	\$ 2,38	1	\$ 66,64
Documentación	120	\$ 2,38	2	\$ 571,20
Gestión comercial	15	\$ 2,38	1	\$ 35,70
Análisis Dimensional	2	\$ 2,38	2	\$ 9,52
Dirección técnica	10	\$ 2,38	2	\$ 47,60
<b>Costo 1</b>				<b>\$ 1016,26</b>

Nota: Se considera semana laboral de 40 horas.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

Tabla 43.

Trabajos de terceros

Trabajos de terceros	Costo			
Proveedor / Servicio	Peso	Unidad	\$/ Unidad	Total
Asesoría electrónica	-	1	\$ 200,00	\$ 200,00
Costo 2				\$ 200,00

Nota: Costo estimado del trabajo de terceros.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

### 3.1.2. Costos de operaciones

Las operaciones son las actividades elaboradas tanto en máquinas como de forma manual, mediante las cuales se produce la transformación de la materia prima por diversos procesos, explicados en la tabla 44.

Tabla 44.

Costo de operaciones

Operaciones	Tiempo empleado y costo total		
	Horas	Costo	
Máquina		Por hora	Total
Fresadora	20	17,86	\$357,20
Torno	8	14,77	\$118,16
Sierra eléctrica	3	7,37	\$22,11
Centro de Mecanizado	10	25	\$250,00
Suelda MAG	15	17,64	\$264,60
Manual	40	6,61	\$264,40
<b>Costo 3</b>			<b>\$ 1276,47</b>

Nota: Cifras expresadas en dólares americanos.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

### 3.1.3. Costos de materia prima e insumos

La tabla 45 indica la materia prima y la tabla 46 indica los insumos utilizados.

Tabla 45.

Detalles de materia prima

Materia prima		Costo			
Componentes	Material	Cantidad	Unidad	\$/unidad	Total
Estructura	A36	80	kg	\$ 2,25	\$ 180,00
Carcaza	A36	10	kg	\$ 2,25	\$ 22,50
Componentes jig	A36	20	kg	\$ 2,25	\$ 45,00
<b>Costo 4</b>					<b>\$ 247,50</b>

Nota: Cifras expresadas en dólares americanos.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

Tabla 46.

Detalles de Insumos a utilizar

Insumos		Costo			
Insumo		Cantidad	Unidad	\$/unidad	Total
Tornillos de bolas	Kit Mecánico	1	U	\$ 1325,00	\$ 1325,00
Guías lineales					
Acoples y soportes					
Motores a pasos	Kit Electrónico	1	U	\$ 540,00	\$ 540,00
Drivers motores					
Tarjetas					
Cables					
Fuente 36 V					
Subtotal insumos importados					\$ 1865,00
Cpu pentium 3		1	U	\$ 80,00	\$ 80,00
Monitor		1	U	\$ 120,00	\$ 120,00
Plasma		1	U	\$ 400,00	\$ 400,00
Tornilleria		100	U	\$ 0,30	\$ 30,00
Componentes neumáticos (cilindro, válvulas y acoples)		1	U	\$ 200,00	\$ 200,00
Subtotal insumos locales					\$ 830,00
Costo 5					\$2695,00

Nota: Cifras expresadas en dólares americanos.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

### 3.1.4. Costos de depreciación

Se entiende por depreciación “el desgaste que sufren los bienes por el servicio que prestan a las actividades económicas de una empresa. Cabe señalar que el costo de depreciación es un gasto para la empresa”(Vásquez Arroyo, 1988, pág. 228).

Para realizar la depreciación se usa el método de la línea recta, que consiste en recuperar una misma cantidad anual por un número de años determinado por la vida útil del bien, tomando en cuenta un valor residual luego de transcurrido este lapso de tiempo. (Baca Urbina, 2001, pág. 167)

Se aplica la siguiente expresión:

$$D = \frac{C - VR}{N}$$

**Donde**

$D = Depreciación$  (\$/año)

$C = Costo$  (\$)

$VR = Valor residual$  (\$)

$N = Vida útil o plazo a depreciar$  (años)

**Consideraciones**

Se depreciará a un periodo de 10 años haciendo referencia al artículo 28 literal c del Reglamento de Aplicación de la Ley de Régimen Tributario Interno. (Servicio de Rentas Internas, 2016)

Como valor residual se considera un 10% de la sumatoria de los costos del 1 al 5.

$C = Costo1 + Costo2 + Costo3 + Costo4 + Costo5$

$$C = \$ 5435.23$$

$$VR = \$ 543.52$$

Se aplica la fórmula y se obtiene el valor de la depreciación:

$$D = 489.17 \frac{\$}{\text{año}}$$

En la tabla 47 se detalla los valores de depreciación.

Tabla 47.

Tabla de Depreciación a 10 años

Tabla de depreciación					
Datos		Años	Depreciación anual	Depreciación acumulada	Valor en libros
Bien a depreciarse	Router cnc	0	Costo de la máquina	-	\$5435,23
Costo	\$5435,23	1	\$489,17	\$489,17	\$4946,06
Vida útil	10 años	2	\$489,17	\$978,34	\$4456,89
Valor residual	\$543,52	3	\$489,17	\$1467,51	\$3967,72
Depreciación anual	\$489,17	4	\$489,17	\$1956,68	\$3478,55
Valor depreciable	\$4891,71	5	\$489,17	\$2445,85	\$2989,38
		6	\$489,17	\$2935,02	\$2500,21
		7	\$489,17	\$3424,19	\$2011,04
		8	\$489,17	\$3913,37	\$1521,86
		9	\$489,17	\$4402,54	\$1032,69
		10	\$489,17	\$4891,71	\$543,52
		Total	\$4891,71		

Nota: Valores para cada uno de los diez años

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

### 3.2. Evaluación económica

Se conoce de forma general, que el efectivo pierde su valor adquisitivo y real con el pasar del tiempo, esta reducción es prácticamente igual al índice inflacionario, es aquí donde nace la importancia de realizar un análisis minucioso del efecto que produce el

tiempo en el valor del dinero. Métodos como: TMAR, VAN, y TIR hacen referencia a ese efecto y serán los utilizados en el presente proyecto.

Como paso previo, se procede a calcular el flujo neto de efectivo elaborando una proyección de ingresos anuales.

### 3.2.1. Flujo neto de efectivo

Está constituido por la diferencia entre los ingresos estimados y los costos fijos y variables. En la tabla 48 se realiza una estimación de los ingresos mensuales para obtener un valor anual; se disminuye el valor de la depreciación anual y el resultado corresponde a los flujos netos de efectivo para cada uno de los diez años.

Tabla 48.

Flujo neto de efectivo

Proyección de ingresos			Depreciación anual	Flujo neto de efectivo anual
año	Ingreso mensual	Ingreso anual		
0	-	-	-	<b>\$-5435,23</b>
1	\$180,00	\$2160,00	\$489,17	\$1670,83
2	\$200,00	\$2400,00	\$489,17	\$1910,83
3	\$250,00	\$3000,00	\$489,17	\$2510,83
4	\$250,00	\$3000,00	\$489,17	\$2510,83
5	\$250,00	\$3000,00	\$489,17	\$2510,83
6	\$250,00	\$3000,00	\$489,17	\$2510,83
7	\$250,00	\$3000,00	\$489,17	\$2510,83
8	\$250,00	\$3000,00	\$489,17	\$2510,83
9	\$250,00	\$3000,00	\$489,17	\$2510,83
10	\$200,00	\$2400,00	\$489,17	\$1910,83

Nota: Cifras expresadas en dólares americanos.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).



### 3.2.2. Costo de capital o tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR)

Se refiere a “la tasa mínima de ganancia sobre la inversión propuesta” (Baca Urbina, 2001, pág. 175), es decir, todo inversionista tiene como idea un valor mínimo de ganancia sobre el capital aportado a más que su capital no pierda el poder adquisitivo al transcurso del tiempo.

La expresión siguiente define al TMAR:

$$TMAR = i + f + i * f$$

**Donde**

*i = premio al riesgo*

*f = inflación*

El índice inflacionario para elaborar el cálculo del TMAR debe ser el promedio de la inflación anual pronosticado para los próximos cinco años, este valor generalmente lo emite cada uno de los bancos nacionales. El premio al riesgo es la tasa de crecimiento real del dinero invertido, y puede tener valores entre el 10% y 15% para inversiones en general. (Baca Urbina, 2001, pág. 176).

### Consideraciones

La máquina es autofinanciada por Troya R, y Velasteguí J., cumpliendo el papel de inversionistas 1 y 2 con una participación del 50% (\$2717,62 cada uno).

No se cuenta con un valor del índice inflacionario pronosticado para los próximos cinco años emitido por el Banco Central, pero mirando los datos históricos de la tabla 49 se puede tomar el valor de 4,13%

Tabla 49.

Valor de inflación anual

INFLACIÓN ANUAL	
2010	3,33
2011	5,41
2012	4,16
2013	3,33
2014	3,67
2015	4,87
<b>PROMEDIO:</b>	<b>4,13%</b>

Nota: Valor de la inflación de los últimos 5 años.

Fuente: (INSTITUTO ECUATORIANO DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, 2015)

Como premio al riesgo se toma un 10%.

El cálculo del TMAR para cada inversionista se indica en la tabla 50.

$$TMAR = 0,0413 + 0,1 + (0,0413 * 0,1) \quad TMAR = 14,54\%$$

Tabla 50.

Cálculo del TMAR

Cálculo de TMAR global					
Accionista	% aportación		TMAR		Ponderación
Inversionista 1	50%	X	0,145	=	0,0725
Inversionista 2	50%	X	0,145	=	0,0725
			<b>TMAR global</b>	<b>=</b>	<b>0,145</b>

Nota: Cálculo para cada uno de los inversionistas.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

Este valor nos indica que para poder cumplir con los 14,54% (TMAR) de interés sobre los \$2717,62 de cada inversionista la tasa de rendimiento (TMAR global) debe ser igual también a 14,5%. En este caso, los valores coinciden porque se trata de inversionistas igualitarios.

### 3.2.3. Valor actual neto (VAN)

“Es el valor monetario que resulta de restar la suma de flujos descontados a la inversión inicial” (Baca Urbina, 2001, pág. 214), es decir, mide el valor actual de los ingresos y desembolsos tomando en cuenta la tasa mínima de rendimiento (TMAR).

Se puede evaluar el valor del VAN con los siguientes criterios:

$VAN > 0$ : *INVERSIÓN RENTABLE*

$VAN = 0$ : *INVERSIÓN INDIFERENTE*

$VAN < 0$ : *INVERSIÓN CON PÉRDIDAS*

En el caso  $VAN > 0$ ; no es importante cuánto mayor a cero sea el valor, esto es una ganancia extra después de aplicar una TMAR conveniente.

Con  $VAN = 0$ ; se está ganando solamente lo considerado en TMAR. Se puede aceptar la inversión pero con la ganancia mínima.

Si  $VAN < 0$ ; se contabilizan pérdidas, se debe rechazar el proyecto. (Baca Urbina, 2001, págs. 214,215).

La expresión que define el VAN es

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

**Donde**

$V_t$  representa los flujos de caja en cada periodo t.

$I_0$  es el valor del desembolso inicial de la inversión.

$n$  es el número de períodos considerado.

### 3.2.4. Tasa interna de retorno (TIR).

“Es la tasa de descuento por la cual el VAN es igual a cero” (Baca Urbina, 2001, pág. 216), es un indicador de rentabilidad, un proyecto es más interesante económicamente cuanto mayor sea el valor de TIR, la tabla 51 muestra el cálculo a 10 años.

Se define como TIR: 
$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+TIR)^t} - I_0 = 0$$

**Donde**

$V_t$ , representa los flujos de caja en cada periodo t.

$I_0$ , es el valor del desembolso inicial de la inversión.

$n$ , es el número de períodos considerado.

Tabla 51.

Cálculo de VAN y TIR

Proyección de ingresos			Depreciación anual	Flujo neto de efectivo anual	Flujos de caja en cada periodo
Año	Ingreso mensual	Ingreso anual			
0	-	-	-	\$-5.435,23	
1	\$180,00	\$2160,00	\$489,17	\$1670,83	\$1459,24
2	\$200,00	\$2400,00	\$489,17	\$1910,83	\$1457,51
3	\$250,00	\$3000,00	\$489,17	\$2510,83	\$1672,63
4	\$250,00	\$3000,00	\$489,17	\$2510,83	\$1460,82
5	\$250,00	\$3000,00	\$489,17	\$2510,83	\$1275,82
6	\$250,00	\$3000,00	\$489,17	\$2510,83	\$1114,25
7	\$250,00	\$3000,00	\$489,17	\$2510,83	\$973,15
8	\$250,00	\$3000,00	\$489,17	\$2510,83	\$849,91
9	\$250,00	\$3000,00	\$489,17	\$2510,83	\$742,28
10	\$200,00	\$2400,00	\$489,17	\$1910,83	\$493,36
			<b>VAN</b>	<b>\$6063,75</b>	
			<b>TIR</b>	<b>37,72%</b>	

Nota: Cifras expresadas en dólares americanos.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

### 3.2.5. Tiempo de recuperación de la inversión o Pay-back (PRI).

“Básicamente consiste en el número de periodos necesarios para recuperar la inversión, es decir, en cuanto tiempo la inversión pasa de un saldo negativo a uno positivo en el manejo económico del proyecto” (Mondino & Pendás, 2005, pág. 255).

Primero se establecen los flujos acumulados, como se muestra en la tabla 52.

Tabla 52.

Flujo neto y flujo acumulado del proyecto

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FLUJO NETO	-\$5.435,23	\$1.670,83	\$1.910,83	\$2.510,83	\$2.510,83	\$2.510,83	\$2.510,83	\$2.510,83	\$2.510,83	\$2.510,83	\$1.910,83
FLUJO ACUMULADO	-\$5.435,23	-\$3.764,40	-\$1.853,57	\$657,26	\$3.168,09	\$5.678,92	\$8.189,75	\$10.700,58	\$13.211,41	\$15.722,24	\$17.633,07

Nota: Cifras expresadas en dólares americanos.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

Para obtener un valor de flujo acumulado, se suma el acumulado del mes anterior con el flujo neto actual, (Ucañán, 2015). Por ejemplo para el flujo acumulado del año 2 ( $F_{ac\ 2}$ ) se procede:

$$F_{ac\ 2} = -\$3764,40 + \$1910,83$$

$$F_{ac\ 2} = \$ - 1853,57$$

$$PRI = A + \left[ \frac{|B|}{C} \right]$$

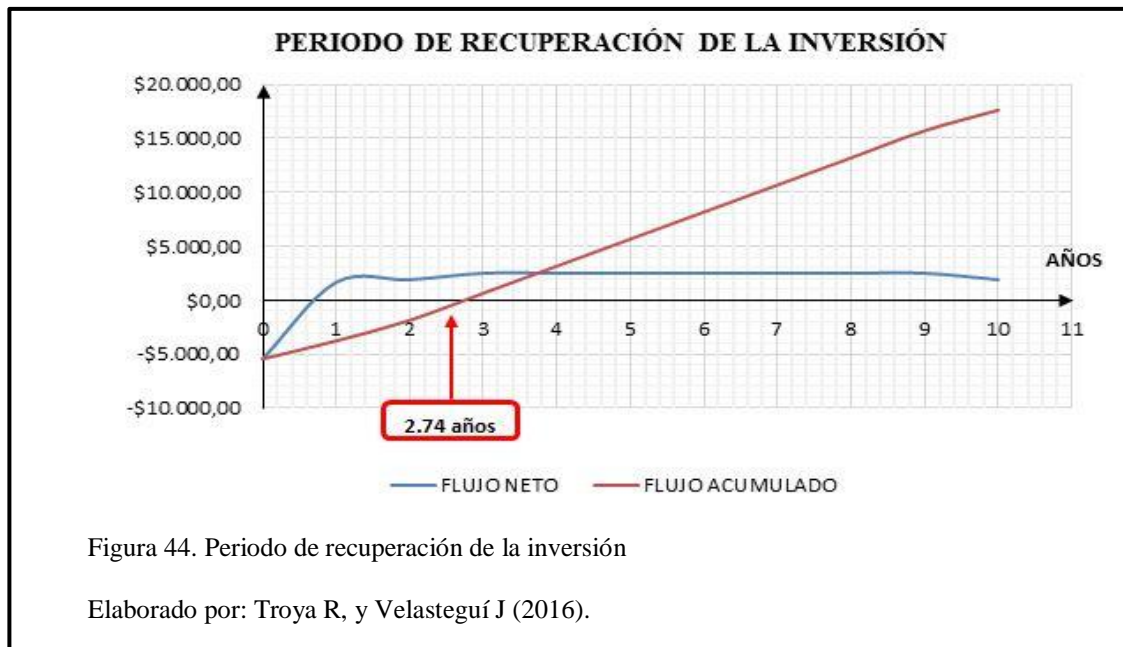
**Donde**

- A Periodo último con flujo acumulado negativo
- B Último flujo acumulado negativo
- C Valor del flujo de caja en el siguiente periodo

$$PRI = 2 + \left[ \frac{|-1853,57|}{2510,83} \right]$$

$$PRI = 2,74 \text{ años}$$

$$PRI = 2 \text{ Años, 8 meses y 26 días.}$$



### 3.3.Evaluación de resultados.

A continuación se exponen y analizan los resultados obtenidos:

Como VAN= \$6063,75, se concluye que la inversión en el proyecto es rentable.

TIR=37,72%, representa un porcentaje mayor al TMAR=14,5% correspondiente al margen mínimo de rendimiento.

En consecuencia, el proyecto es viable y satisface las expectativas de los interesados.

## CAPITULO IV

### 4. CONSTRUCCIÓN

#### 4.1. Estructura

El proceso de fabricación empieza por el bastidor de la máquina como se observa en la figura 45 para lo cual se usa el perfil de (70x30x2) mm para el marco superior y el perfil de (30x30x2) mm para la estructura en su parte inferior.



Figura 45. Estructura de la máquina real

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

Adicionalmente se construye el mecanismo de regulación de las patas como se observa en la figura 46, de esta manera se nivela la estructura según se presente el caso.



Figura 46. Mecanismo de regulación de las patas

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

Posteriormente se construye el brazo del bastidor el mismo que sostiene el monitor, teclado y mouse, el mecanismo es giratorio como se muestra en la figura 47.



Figura 47. Brazo giratorio del bastidor

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

#### 4.2. Mesa de la máquina cortadora de plasma

Una vez construido el bastidor se procede con el fresado de los lados laterales de todas las placas para ponerlas a escuadra y posteriormente mecanizarlas, se debe respetar las tolerancias expuestas en los planos, en la figura 48 se observa la mesa de la máquina.



Figura 48. Mesa de la máquina

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).



#### 4.3. Construcción del eje de coordenadas “Y”

En la figura 49, se muestra el eje de coordenadas “Y”, se presenta como el eje con la mayor magnitud de peso, las placas laterales e inferior se las realiza con la ayuda de un centro de mecanizado mientras que las placas restantes se las realiza con la ayuda de un taladro y una fresadora convencional.

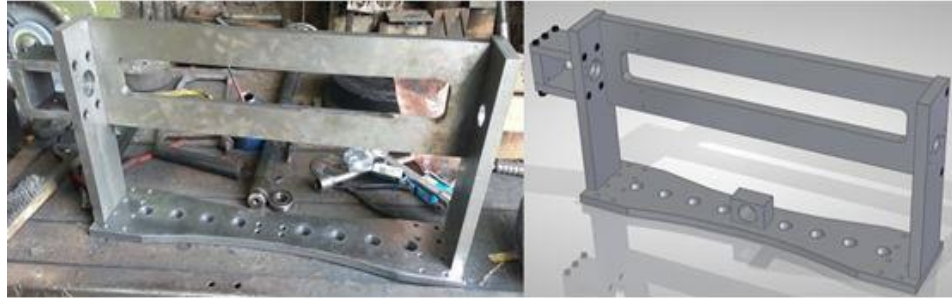


Figura 49. Eje de coordenadas "Y"

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

#### 4.4. Construcción de los ejes de coordenadas “X” y “Z”

El eje Z es el encargado de sostener la antorcha del plasma como se muestra en la figura 50, los dos ejes “Z” y “X” se elaboraron con la ayuda de un centro de mecanizado, el eje “X” figura 51 se encarga de soportar al eje “Z”, de esta manera se fabrican los ejes de coordenadas.

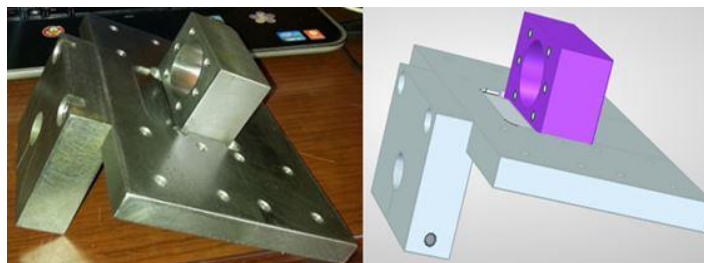


Figura 50. Eje de coordenadas "Z" Porta antorcha.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

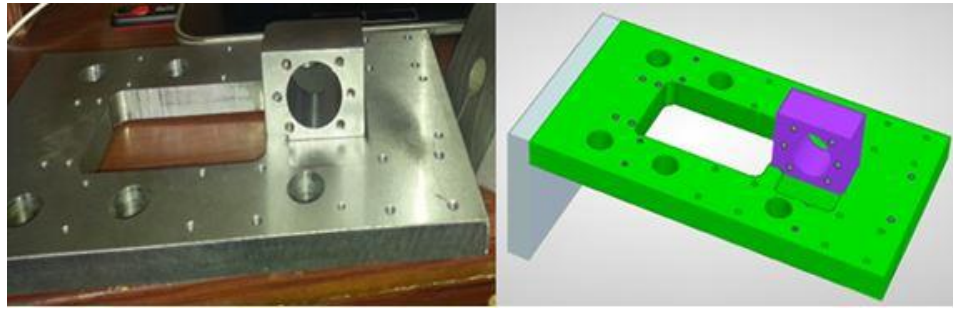


Figura 51. Eje de coordenadas "X"

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

#### 4.5. Ensamble de los ejes y de componentes normalizados

En la figura 52, se observa la máquina totalmente armada, sus tres ejes X,Y,Z junto con las guías SBR20, los husillos de bolas y los motores Nema 34, de esta manera se finaliza la construcción del proyecto.

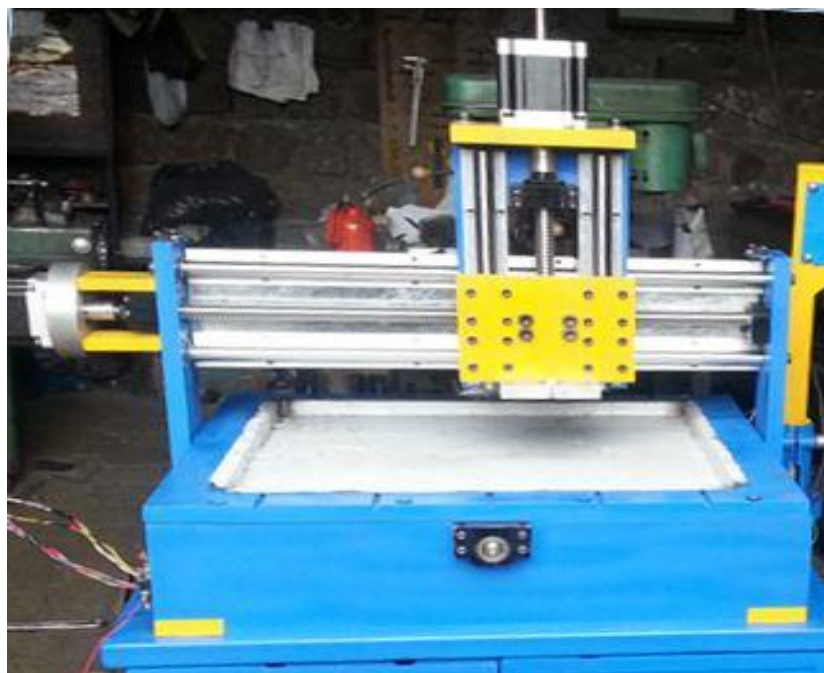


Figura 52. Ensamble total de la máquina

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

## Conclusiones

- Una vez evaluados los diferentes procesos de corte de metal, se concluye que el proceso de corte con plasma en cuestión de producción en serie de pequeños y grandes lotes de tubos rectangulares para el basculante de las motocicletas es el indicado debido a su versatilidad, su corte a alta velocidad, su bajo costo en comparación con el proceso láser, todo esto da como resultado altas prestaciones en cuanto a la relación costo beneficio.
- La automatización gracias a la tecnología CNC y a la máquina diseñada representa la optimización del proceso en función de tiempo y de capacidad de producción, gracias a la ayuda de un jig se puede elaborar la ranura en 6 tubos al mismo tiempo como se puede ver en la figura 53, anteriormente se lo elaboraba de uno en uno, de esta manera se mejora notablemente los indicadores de producción.



Figura 53. Corte de la ranura en los tubos

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

- El tiempo total del proceso completo de corte de la ranura en los 6 tubos es de 150 segundos, es decir 25 segundos por tubo, comparado con el tiempo actual de 80 segundos se consigue optimizar el corte en 55 segundos, en porcentaje

representa un aumento del 68% en eficiencia, las ranuras se observan en la figura 54.



Figura 54. Ranuras realizadas con la CNC plasma.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

- Los parámetros ideales de corte encontrados para el tubo rectangular ASTM A-200 de espesor de 2 mm se pueden ver en la tabla 53.

Tabla 53.

Parámetros de corte ideales.

Parámetros	Valor	Unidades
Velocidad de avance	600	mm/min (milímetro por minuto).
Intensidad de corriente del plasma	32	A (amperios).

Nota: Parámetros obtenidos experimentalmente.

Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J (2016).

- En referencia a la inversión realizada en el presente proyecto el periodo de recuperación es de 2,74 años, lo que expresa un tiempo moderado de recuperación de la inversión en función de la vida útil de la máquina, pues se puede obtener beneficios económicos por un lapso algo mayor a siete años.

- La versatilidad de la tecnología CNC y dado que la presente máquina es desmontable, no solo se la puede utilizar para el corte con plasma, adaptándole una herramienta de corte en el eje Z fácilmente se la puede convertir en un router para madera, duralón o aluminio, la automatización y funcionalidad se mantendrán, lo único que cambia es el propósito, la programación y operación de la máquina serán los mismos.

## **Recomendaciones**

Una vez elaborado el programa a cortar en la máquina, se recomienda revisar línea por línea el código de esta manera se evita posibles errores en la geometría del corte y al mismo tiempo se descarta la posibilidad de choques en la máquina.

Al armar la máquina asegurarse que todos los pernos se encuentren debidamente ajustados, para evitar posibles daños en los componentes importados.

Para el transporte de la máquina se lo debe realizar completamente armada y necesariamente sin ningún tipo de abastecimiento de energía, evitar totalmente los golpes, los cuales podrían afectar los sistemas de precisión y por ende afectar las tolerancias finales.

Bajo ninguna circunstancia la máquina debe ser operada por personal no calificado para el trabajo.

La selección de la velocidad de operación de la máquina está en función del tipo y espesor de material a cortar en los anexos se muestra la tabla de velocidades recomendadas por el fabricante de corte con plasma.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Aiteco Consultores. (2012). *Aiteco Consultores*. Recuperado el 02 de 10 de 2015, de Aiteco Consultores: <http://www.aiteco.com/matriz-de-priorizacion/#>
- Allen - Bradley. (2013). *Kinetix Linear Motion Specifications*. Utah: Rockwell Automation.
- American Institute of steel Construction INC. (s.f.). *Manual of STEEL CONSTRUCTION*.
- Automationdirect. (2005-2007). *Sistema de motores paso a paso*. Automationdirect.com™ Incorporated.
- Baca Urbina, G. (2001). *Evaluación de proyectos*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Mexico DF: Mc Graw Hill.
- Cruz Teruel, F. (2005). *Control numérico y programación*. Madrid: Marcombo.
- DIPAC. (2014). *Catálogo tubería*. Manta.
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. Mexico DF: Mc Graw Hill.
- Grupo NTN-SNR. (2004). *Portal NTN-SNR*. Recuperado el 20 de septiembre de 2015, de NTN-SNR Web site: <http://www.ntn-snr.com/industry/es/es-es/index.cfm?page=/industry/home>
- HIWIN. (2012). *Husillos Laminados*. Bilbao: San sebastián.
- HYPERTERM. (1999). *POWERMAX600 PLASMA ARC CUTTING SYSTEM- OPERATOR MANUAL* (Segunda Edición ed.). Estados Unidos.
- HYPERTHERM. (s.f.). Plasma, oxifuel y láser. *REVISTATOPE*.
- IESS. (2016). *Sectoriales 2015 IESS*. Obtenido de [http://www.iesgob.ec/documents/13718/54965/sectoriales\\_2015\\_IESS\\_1.pdf](http://www.iesgob.ec/documents/13718/54965/sectoriales_2015_IESS_1.pdf)
- INSTITUTO ECUATORIANO DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS. (2015). *Ecuador en cifras*. Recuperado el 20 de 11 de 2015, de [www.inec.gob.ec](http://www.inec.gob.ec)

- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Mexico: Pearson Educación.
- Larburu, N. (1998). *Máquinas Prontuario*. Bilbao: Paraninfo.
- Mondino, D., & Pendás, E. (2005). *Finanzas para empresas competitivas*. Buenos Aires: Ediciones Granica.
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México D.F.: Pearson Educación.
- Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Màquinas*. México D.F.: Pearson Educación.
- NBS. (2012). *CATÁLOGO TÉCNICO GENERAL*. Roma.
- Servicio de Rentas Internas. (2016). *Depreciación acelerada de activos fijos*. Obtenido de <http://www.sri.gob.ec/web/guest/depreciacion-acelarada-de-activos-fijos;jsessionid=zSaM8HgoPtTap7AzMPvaYseL>
- SEW Eurodrive. (2004). *Motores Lineales síncronos SL2*. Bruchsal: RG Mannheim.
- Sistemas de construcción para aplicaciones industriales: Item@Sinerges*. (2015). Recuperado el 20 de septiembre de 2015, de Item industrietechnik: <http://www.item24.es/es/pagina-de-inicio/productos/sistemas-de-construccion-modular-item/sistema-de-construccion-mb/tecnologia-lineal/accionamientos/husillos-de-bolas.html>
- THK CO. LTD. (2013). *GUÍAS DE MOVIMIENTO LINEAL*. Mexico DF: D-809S.
- THK CO. LTD. (s.f.). *Husillo de bolas catálogo general*.
- Ucañán, R. (18 de febrero de 2015). *Cálculo del periodo de recuperación de la inversión o payback*. Obtenido de <http://www.gestiopolis.com/calculo-del-periodo-de-recuperacion-de-la-inversion-o-payback/>
- Vásconez Arroyo, J. V. (1988). *Introducción a la contabilidad*. Quito: Grupo Carvajal.
- WITTENSTEIN. (2013). *Catálogo sistema piñón-cremallera alpha*. Berguedà: MasBlau.



# ANEXOS

## ANEXO A

Imagen de la máquina finalizada.



Elaborado por: Troya R, y Velasteguí J

## ANEXO B

Especificaciones del motor paso a paso NEMA 34.

### Especificaciones

Especificaciones del motor paso a paso <i>SureStep™</i>				
Números de artículo	STP-MTR-17048	STP-MTR-23055	STP-MTR-23079	STP-MTR-34066
Flanje del Motor	NEMA 17	NEMA 23	NEMA 23	NEMA 34
Torque de eje deternido máximo	0,59 N-m	1,29 N-m	2,08 N-m	3,06 N-m
	83 onzas-pulgada	166 onzas-pulgada	276 onzas-pulgada	434 onzas-pulgada
	5,2 libras-pulgada	11,4 libras-pulgada	18,4 libras-pulgada	27,1 libras-pulgada
Inertia del rotor	0,0000068 kg-m <sup>2</sup>	0,000027 kg-m <sup>2</sup>	0,000047 kg-m <sup>2</sup>	0,00014 kg-m <sup>2</sup>
	0,45 oz-in <sup>2</sup>	1,483 oz-in <sup>2</sup>	2,596 oz-in <sup>2</sup>	7,66 oz-in <sup>2</sup>
	0,00006 lb-in-s <sup>2</sup>	0,00024 lb-in-s <sup>2</sup>	0,00042 lb-in-s <sup>2</sup>	0,0012 lb-in-s <sup>2</sup>
Corriente nominal	2,0 A/fase	2,8 A/fase	2,8 A/fase	2,8 A/fase
Angulo del paso básico	1,8° (motores bifásicos con cable con conector)			
Peso	210 gramos 0,7 lbs	457 gramos 1,50 lbs	1 Kg 2,2 lbs	1,17 Kg 3,85 lbs
Tolerancia del eje	0,0508 mm o 0,002 pulgadas			
Juego radial del eje @ fuerza de 1 libra	0,0254 mm o 0,001 pulgadas máximas			
Perpendicularidad	0,0762 mm o 0,003 pulgadas			
Concentricidad	0,0508 mm o 0,002 pulgadas			
Temperatura de operación	-20 °C a 50 °C (La temperature externa del motor debe mantenerse abajo de 100 °C (212 °F))			
Fuerza máxima radial	1,82 Kg o 6 lbs	4,57 Kg o 15 lbs	4,57 Kg o 15 lbs	11,89 Kg o 39 lbs
Fuerza máxima axial	1,82 Kg o 6 lbs	3,96 Kg o 13 lbs	3,96 Kg o 13 lbs	7,62 Kg o 25 lbs
Clase de aislación	Clase B 130 °C			
Aprobación de Agencia	CE (cumple con EN55014-1 (1993) y EN60034-1.5.11)			
Cable de extensión (motor al accionamiento)	6 metros o 20 pies - Número de artículo <b>STP-EXT-020</b>			

(Automationdirect, 2005-2007)

## ANEXO C

Especificaciones técnicas para tubo estructural cuadrado astm a-500 grado A.


Norma ASTM A 500 Grado del Acero		Propiedades Mecánicas (mínimas)				
		Límite de Fluencia Mpa (Kg/cm <sup>2</sup> )	Límite de Fluencia psi	Resistencia a la Tracción Mpa (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la Tracción psi	% Elong
Circular	A	228 (2.320)	33,000	310 (3.170)	45,000	25
	B	290 (2.955)	42,000	400 (4.080)	58,000	23
	C	317 (3.230)	46,000	427 (4.360)	62,000	21(*)
Cuadrado y rectangular	A	269 (2.740)	39,000	310 (3.170)	45,000	25
	B	317 (3.230)	46,000	400 (4.080)	58,000	23
	C	345 (3.515)	50,000	427 (4.360)	62,000	21(*)

Fuente: DIPAC (2015)

## ANEXO D

Especificaciones del acero SAE 1018.

**SAE 1018**  
*Eje de transmisión - tolerancias h10-h11*



**GENERALIDADES:** Acero de bajo contenido de carbono.

**ANÁLISIS TÍPICO %**

	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>
SAE 1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050

**PROPIEDADES MECÁNICAS**

Suministrado laminado en frío (medidas pequeñas hasta 2 1/2 ") o torneado (medidas hasta 6"). Las medidas 7";8";9" y 10" son suministradas laminadas en caliente o torneado de desbaste.

<i>Propiedad: Laminado en Frío</i>	
Esfuerzo de cedencia, kg/mm <sup>2</sup>	min. 31
Resistencia a la tracción, kg/mm <sup>2</sup>	51-71
Elongación, A5	20%
Reducción de área, Z	57%
Dureza	163 HB

**APLICACIONES**

Donde se requiera aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes, como por ej.: pernos y tuercas, piezas de máquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc. Factible de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso. Excelente soldabilidad.

Fuente: IVAN BOHMAN C.A. (2015)

## ANEXO E

Tolerancias usadas según el tipo de trabajo.

SIMBOLO ISO		DESCRIPCIÓN**	APLICACIONES
Agujero base	Eje base		
H11/c11	C11/h11	<b>Movimiento grande, amplio:</b> ajuste para tolerancias comerciales amplias o para elementos exteriores.	Cojinetes en maquinaria agrícola y doméstica, equipos de minería, topes, pasadores.
H9/d9	D9/h9	<b>Movimiento libre:</b> no debe emplearse cuando la precisión sea algo esencial. Es adecuado para grandes variaciones de temperatura, velocidades de giro elevadas, o presiones elevadas en la pieza macho.	Cojinetes giratorios donde la velocidad de giro es mayor o igual a 600 R.P.M., soportes de ejes en grúas, carretillas, transmisiones y maquinaria agrícola.
H8/f7	F8/h7	<b>Movimiento limitado:</b> para máquinas de precisión y para posicionamiento preciso en caso de velocidades moderadas y presión en la pieza macho.	Montajes deslizantes donde la velocidad es menor de 600 r/min, construcción de máquinas herramientas de precisión, partes de automotores.
H7/g6	G7/h6	<b>Ajuste deslizante:</b> cuando no se pretende que las piezas se muevan libremente, una respecto a la otra, pero pueden girar entre sí y colocarse con precisión.	Collares de retención, émbolos de frenos de aceite, acoplamientos de platillos desembragables, bridas de centrar para tuberías y válvulas.
H7/h6	H7/h6	<b>Posicionamiento con juego:</b> proporciona cierto apriete. Es adecuado para posicionar piezas estacionarias, pero pueden montarse y desmontarse fácilmente.	Engranajes de cambios de velocidades, ejes de contrapunto, mangos de volantes de mano, columnas guía de taladros radiales, brazo superior de fresadoras.
H7/k6	K7/h6	<b>Posicionamiento de transición o ajuste intermedio:</b> posicionamiento de precisión, es un compromiso entre el juego y la interferencia.	Engranajes en husillos, poleas fijas y volantes en ejes, discos de excéntrica, manivelas para pequeños esfuerzos.
H7/n6	N7/h6	<b>Posicionamiento de transición o ajuste intermedio:</b> posicionamiento más preciso en el que se requiere y admite una interferencia mayor.	Casquillos de bronce, collares calados sobre ejes, piñones en ejes motores, inducidos en dinamos.
H7/p6*	P7/h6	<b>Posicionamiento con interferencia:</b> para piezas que requieran rigidez y alineación muy precisas pero sin requisitos especiales de presión en el agujero.	
H7/s6	S7/h6	<b>Sin movimiento o fijo:</b> para piezas de acero normales o ajustes forzados en secciones pequeñas. Es el ajuste más apretado admisible en piezas de fundición.	Casquillos de bronce en cajas, cubos de ruedas y bielas, coronas de bronce en ruedas helicoidales y engranajes, acoplamientos en extremos de ejes.
H7/u6	U7/h6	<b>Forzado:</b> para piezas que van a funcionar muy cargadas, para ajustes forzados en los que las fuerzas de apriete requeridas no son factibles en la práctica.	

Fuente: Tamez (2009)



## ANEXO F

### Rangos de velocidad de corte, espesor y tipo de material.

MATERIAL	THICKNESS (ESPESOR)		CURRENT (CORRIENTE)	APPROXIMATE TRAVEL SPEED (VELOCIDAD APROXIMADA DEAVANCE)
	(inches)	(mm)		
<b>MILD STEEL</b> (ACERO BLANDO)	1/16	1.5	40	10150
	5/64	2.0	40	7720
	3/32	2.5	40	6080
	1/8	3.0	40	4950
	9/64	3.5	40	4090
	5/32	4.0	40	3400
	3/16	5.0	40	2370
	1/4	6.0	40	1680
	17/32	7.0	40	1235
	5/16	8.0	40	950
	3/8	10.0	40	640
	1/2	13.0	40	460
	5/8	16.0	40	250
<b>ALUMINUM</b> (ALUMINIO)	1/16	1.5	40	10900
	5/64	2.0	40	7030
	3/32	2.5	40	5440
	1/8	3.0	40	4450
	9/64	3.5	40	3720
	5/32	4.0	40	3140
	3/16	5.0	40	2250
	1/4	6.0	40	1620
	17/32	7.0	40	1180
	5/16	8.0	40	870
	3/8	10.0	40	510
	1/2	13.0	40	410
	5/8	16.0	40	200
<b>STAINLESS STEEL</b> (ACERO INOXIDABLE)	1/16	1.5	40	10150
	5/64	2.0	40	6610
	3/32	2.5	40	5050
	1/8	3.0	40	4060
	9/64	3.5	40	3340
	5/32	4.0	40	2270
	3/16	5.0	40	1900
	1/4	6.0	40	1320
	17/32	7.0	40	950
	5/16	8.0	40	730
	3/8	10.0	40	510
	1/2	13.0	40	330
	5/8	16.0	40	180

Fuente: (HYPERTERM, 1999)